

الجــمـهــوريــة الجـــزائـــريـــة الـــديـــمـقـــراطـيـــة الـــشـــعبية
وزارة الــتـــعـــلـــيـــم الـــعـــالـــي والـــبـــحـــث الـــعـــلـــمـــي
جـــامـــعـــة الإخـــوة مـــنـــتـــوري، قـــســـنـــطـــيـــنـــة1
كـــلـــيـــة الـــعـــلـــوم الـــدقـــيـــقـــة
قـــســـم الـــفـــيـــزيـــاء



رقم التسجيل :........
التسلسل:.............

رسالة ماستر

الميدان : علوم المادة
فرع : الفيزياء
التخصص: الفيزياء النظرية : الفيزياء الفلكية
الموضوع:

الأشعة الكونية ما بعد الكاحل في طيف طاقتها (eV) $E \leq 10^{18}$ بمحاكاة:CONEX Code

مقدمة من طرف :

محمد سكوتي

نوقشت يوم : 2020/09/16

أمام اللجنة:

رئيسا:	جمال ميموني	أ.د.	جامعة الإخوة منتوري، قسنطينة 1
مقررا:	محمد شريف طلعي	أ.م.أ	جامعة باجي مختار، عنابة
ممتحننا:	نورالدين مباركي	أ.د.	جامعة الإخوة منتوري، قسنطينة 1

بسم الله الرحمان الرحيم

شكر وعرفان

وإنه لمن دواعي الغبطة والسرور، ومن تمام الفرحة والحبور أن أتوجه بالشكر الجزيل والعمل النبيل لكل من ساهم لإنجاح هذا العمل المتواضع من قريب أو بعيد وأخص بالذكر:

- ✓ الأستاذ: محمد شريف طلعي، الذي كان لي نعم الموجه ولم يبخل علي في إشراف هذه المذكرة من تصحيح وتعليق وكذا مخبر الفيزياء الإشعاعية (LPR) لجامعة باجي مختار عنابة على الاستضافة.
- ✓ الأستاذ: جمال ميموني على كونه ممتحنا للرسالة، وقبل ان يكون ممتحنا لي فهوأستاذي في دفعة الماستر للفيزياء الفلكية الذي لا يكل ولا يمل في توجيهنا والعمل لرفع مستوى التعليم وتبسيطه فله الفضل بعد الله في فتح هذا التخصص المهم في الجزائر.
- ✓ الأستاذ: نور الدين مباركي رئيس مخبر فيزياء الرياضية والجسيمات الدقيقة على كرم قبوله مناقشا للرسالة وكذا مخبر (LPMS) بجامعة منتوري .
- ✓ كل من أعانني في إنجاز هذا البحث بدءا بالشيخ عمر يحي أولاد اعماره، عبد الله واطفيش تونسي، بشير صالح بنورة، إبراهيم و بكير حفار
- ✓ كل أساتذة وإدارة قسم الفيزياء، الأساتذة المؤطرين والممتحنين لدفعة ماستر2020.
- ✓ زملائي طلبة ماستر2 لفيزياء الفلك وكذا الفيزياء النظرية.
- ✓ لكل من علمني حرفا من الكتاتيب، للابتدائي ومعهد الحياة وُصولاً للجامعة.

إليكم يا معشر العلم وقبس نور الرحمان....

أهدي لكم أسمى عبارات الود والإمتنان...

الإهداء

الحمد لله الذي هدانا ووفقنا لهذا وما كنا لنهتدي لولا أن يسر الله لنا السبل، أهدي هذه الثمرة اليانعة إلى من يعجر عن شكره القلم واللسان وعن تحبيره الفِكر والجَنان، الوالدان العزيزان. أمي، أبي لطالما سهرا في تنشئتي وتعليمي وشجعاني لبلوغ هذا المرام.

إلى نبع المحبة والمودة والحنان زوجتي الحبيبة التي طالما سهرت معي في كتابة سطور هذه المذكرة إلى وقت متأخر من الليل.

إلى أختايْ وإخوتي وزوجاتهم عبد العزيز أبنائه وعبد الحميد وسعيد وأخص بالذكر إبراهيم الذي ساعدني وكان لي الدعم المادي والمعنوي.

إلى جل أعمامي وعماتي وأخوالي وخالاتي وبتي عودة وكل العائلة الكريمة صغيرها وكبيرها، وكذا أغرم آت مليشت، تغردايت.

إلى كل شغوف بالعلم والمعرفة، علها تكون هذه الرسالة نبراسا ومَعينًا للطلبة والمقبلين على التخرج.

والله من وراء القصد فاللهم علمنا ما ينفعنا وانفعنا بما علمتنا وزدنا علما وتقى، سبحانك لا علم لنا إلا ما علمتنا إنك أنت الحكيم العليم وآخر دعوانا أن الحمد لله رب العالمين.

محمد عبد الرحمان سكوتي ـ آت مليشت.

الفهرس

شكر وعرفان .... أ

الإهداء .... ب

الفهرس .... ج

المقدمة 5

الفصل الأول 7

1. خصائص الأشعة الكونية 7

1.1 ما هي الأشعة الكونية(Cosmic rays)؟ 8

2.1 اكتشاف الأشعة الكونية 9

3.1 أصل الأشعة الكونية 11

4.1 أطياف الطاقة للأشعة الكونية 11

5.1 وفرة العناصر الكميائية للأشعة الكونية 13

6.1 قطع GZK 17

الفصل الثاني 19

2. تفاعل الأشعة الكونية مع الغلاف الجوي للأرض 19

1.2 تفاعل الأشعة الكونية مع الغلاف الجوي للأرض: 20

2.2 الشلالات الهوائية Air Showers 21

3.2 الشلال الكهرومغناطيسي 21

1.3.2 التأثير الكهروضوئي Photoelectric effect 22

2.3.2 التشتت المترابط Coherent Scattering 23

3.3.2 تأثير كومبتون Compton Effect 23

4.3.2 إنتاج الأزواج Pairs production 24

5.3.2 التحلل الضوئي Photodisintegration 25

6.3.2 إشعاع الانكباح Bremsstrahlung 25

7.3.2 تأثير ظاهرة شعاع شيرينكوف Cherenkov effect 26

4.2 الشلال الهادروني 28

5.2 المركبة الميونية 29

6.2 خصائص الشلالات الهوائية 31

7.2 تليسكوب بيير أوجي Pierre Auger (الأرجنتين): 33
8.2 التلسكوب Array (الولايات المتحدة الأمريكية)........ 34
9.2 التوزيع الطولي (Distribution longitudinal) وX_{max}: 35
10.2 نموذج هيتلر Heitler (نموذج لعبة) (Toy Model): 36
الفصل الثالث 38
3. الأشعة الكـونية عـالـية الـطـاقـة برنامج كونكسCONEX Code 38
الأشعة الكونية عالية الطاقة ما بعد الكاحل في الطيف الطاقوي محاكاة كود كونكس Code CONEX : 39
1.3 طريقة المحاكاة: 40
2.3 النتائج: 42
1.2.3 الشروط الإبتدائية: 42
3.3 مناقشة النتائج: 43
4. الخاتمة 50
5. الـمـلـحـق 51
1.5 بعض البيانات الخصة بالوحدات الطاقوية : 51
2.5من أجل تثبيت برنامج CONEX 51
3.5 وصف الخيارات المتاحة لبرنامج كونكسCONEX 52
4.5 تعليقات على خصائص برنامج كونكس CONEX 53
الفهارس: 55
1. فهرس الأشكال والصور 55
2. فهرس المعادلات : 56
3. فهرس الجداول: 56
المراجع: 57
الملخص: 60
Abstract: 60

المقدمة

منذ مليارات السنين تجوب أنوية بعض الذرات والجسيمات تحت الذرية الكون الفسيح، والتي تدعي الأشعة الكونية . وكان من نصيب الأرض بعضا منها، حيث منذ ملايين السنين تعصف الأشعة الكونية الأرض في جميع الإتجاهات، وبسرعات هائلة تقارب سرعة الضوء وبتدفق يزيد عن 1000 جسيم. $^{-2}$م . $^{-1}$ ثا ($Particle\ .\ m^{-2}.\ s^{-1}$)، يعتبرها العلماء رسائل تحمل في طياتها تاريخ الكون منذ النشأة منها نستطيع تحديد طاقتها ومصادرها.

مر حوالي قرن من الزمن على اكتشاف الأشعة الكونية بفضل العالم فيكتور هيس، منذ ذلك الحين وفيض من الأسئلة تطرح لكشف لثام الغموض عنها وعن خصائصها، لكن بعضا منها ظل لغزا قائما. من المعلوم عن تلكم الجسيمات المشحونة في معظمها، أنها تتأثر بالمجال المغناطيس ما بين المجرات، داخل المجرة وداخل المجموعة الشمسية بالإضافة إلى أن المجال المغناطيسي الأرضي يؤثر على انعطاف وانحراف الاشعة الكونية عن مسارها مما يظهر على أن فيض الجسيمات الأولية يبدوكما لوانه يعتمد على خطوط الطول والعرض وزاوية السمت. تعمل خطوط المجال المغناطيسي على انحراف الاشعة الكونية [1]؛ إلا أن بعضا منها لفرط طاقتها تنفلت ولا تؤثر فيه الحقول المغناطيسية حيث ترد إلينا بطاقات جد عالية تتجاوز حد $(GZK) \sim (eV)\ 5.10^{19}$؛ هذه الجسيمات ذات الطاقات الجد العالية ((Ultra High Energy (UHE)).

لحد الآن لم نتمكن من الجزم عن مصدرها وآلية تسريعها. تبقى بعض الفرضيات التي تحاول إيجاد تفسير لتسريعها واكتسابها تلك الطاقة الهائلة مثل آلية التسريع بالحقول الكهربائية للوسط بين النجم وآلية فيرمي فيما يخص المستعيرات العظمى. غير أن العلماء حاولوا ترشيح بعض المصادر مثل النجوم النابضة وانفجارات أشعة غاما والثقوب السوداء العملاقة، المجرات ذات الأنوية النشطة، المستعيرات العظمى ...

عندما تصل الجسيمات الأولية الغلاف الجوي للأرض تحدث تفاعلات نووية حيث تنتج شلالات هوائية (Air Showers) من الجسيمات الثانوية تصل إلى الأرض. بفضل المراصد مثل هاس، أوجي وتلسكوب المصفوفة ... استطاعت الكواشف أن تجمع لنا بيانات عن تلك الجسيمات الثانوية لتقدم لنا معلومات عن الجسيمة الأولية عن طاقتها وجل خصائص الشلال الهوائي الذي أحدثته. موازاة على خدمة المراصد والكاشفات، أُنتجت برامج للمحاكاة لتسهيل عمل الباحثين والعلماء داخل المراصد ومخابر البحث. فهي جد مهمة لمساعدة الباحثين لاكتشاف المزيد والمزيد عن تلك الجسيمات الأولية.

في بحثنا هذا نتطرق في الفصل الأول إلى خصائص الأشعة الكونية وكيفية اكتشافها من إسهامات العلماء في القرنين السابقين ثم نتحدث عن الطيف الطاقوي للأشعة الكونية وماهي العناصر المكونة لها ثم منشؤها ومصدرها. ولكون موضوعنا الأساسي هوالأشعة الكونية فائقة الطاقة، سنسهب الحديث في هذا النوع من الأشعة من خلال حد (GZK) وما يحدث فيه من تفاعلات.

في الفصل الثاني نتطرق لتفاعلات الأشعة الكونية مع الغلاف الجوي حيث نسهب الحديث عن الشلالات الهوائية (Air Showers) وأنواعها من الناحية الفيزيائية وما يحدث من تفاعلات عندها مثل تأثير الكهروضوئي تأثير كونتون إنتاج الأزواج والإفناء...، ونبسط الحديث في المرصدين تليسكوب بيير أوجي Pierre Auger، تلسكوب المصفوفة (Telescope Array .TA).

وبما أن الأشعة الكونية فائقة الطاقة يصعب رصدها مباشرة بأجهزة القياس والكاشفات فإن الفيزيائيين طوروا طرقا لكشف التفاعلات الثنائية الحاصلة في الغلاف الجوي. من خلال هذه المعطيات وبواسطة برامج تحاكي هذه التفاعلات، حيث سهلت عملية البحث والاستقراء في استنتاج المعلومات الخاصة بالجسيمات الأولية كالنوعية أوالكتلة (m) والطاقة (E_0) و الاتجاه (θ).

من بين تلك البرامج CONEX الذي اعتمدنا عليه في دراستا هذه والفصل الأخير يتحدث عنه وعن كيفية تثبيته، طريقة المحاكاة ومناقشة النتائج المتحصل عليها.

الفصل الأول

1. خصائص الأشعة الكونية

1.1 ما هي الأشعة الكونية(Cosmic rays)؟

الأشعة الكونية هي عبارة عن مجموعة من الجسيمات ذات الطاقات العالية (UHE) والتي تجوب الفضاء، فترتطم بالغلاف الجوي للأرض منتجة تفاعلات. تُخلف هذه التفاعلات جسيمات ثانوية "شلالا من الجسيمات الثانوية" تخترق طبقات الغلاف الجوي حتى يصل بعضها إلى الأرض والبعض الآخر يخترق أجسادنا ويواصل طريقه متجاوزا الطبقات الأرضية.

تتكون الأشعة الكونية غالبا من بروتونات (protons) وجسيمات ألفا (α) أي نوى ذرات الهيليوم (He) إلكترونات، إضافة إلى أنوية ثقيلة مثل الحديد (iron) [2].

وبما أن الأشعة الكونية جل جسيماتها مشحونة، فإن مسارها في الفضاء يتأثر بخطوط حقل القوى المغناطيسية في الكون .

من المعروف أن الأشعة الكونية لها طاقة عالية جدا وتفوق نظيراتها في المختبرات والمفاعلات، كذا معجلات الجسيمات مثل مصادم الهدرونات الكبير(LHC)، الذي يسرع الجسيمات مثل البروتونات حيث بلغت طاقتها إلى نحو700 (GeV) جيجا إلكترون فولت[2]، أما الأشعة الكونية فتصل طاقتها إلى 10^{21} (eV) إلكترون فولت وهي طاقة رهيبة جدا يستحيل بلوغها لدى المختبرات.

2.1 اكتشاف الأشعة الكونية

كان الإعتقاد السائد في القرون السابقة أن الهواء عازل وليس وسطا ناقلا للشحنات الكهربائية، إلى أن لاحظ شارل أوجستين دي كولوم (Charles-Augestin de Coulomb) أن الكرة المشحونة كهربائيا تفقد شحنتها بالكامل وبشكل غير مألوف، طرحت عدة فرضيات لعلها تجيب عن لغز فقدان الشحنات إلى أن اكتشف العالم فيكتور هاس Victor Hess الأشعة الكونية في 7 آب/أغسطس عام 1912،[3]



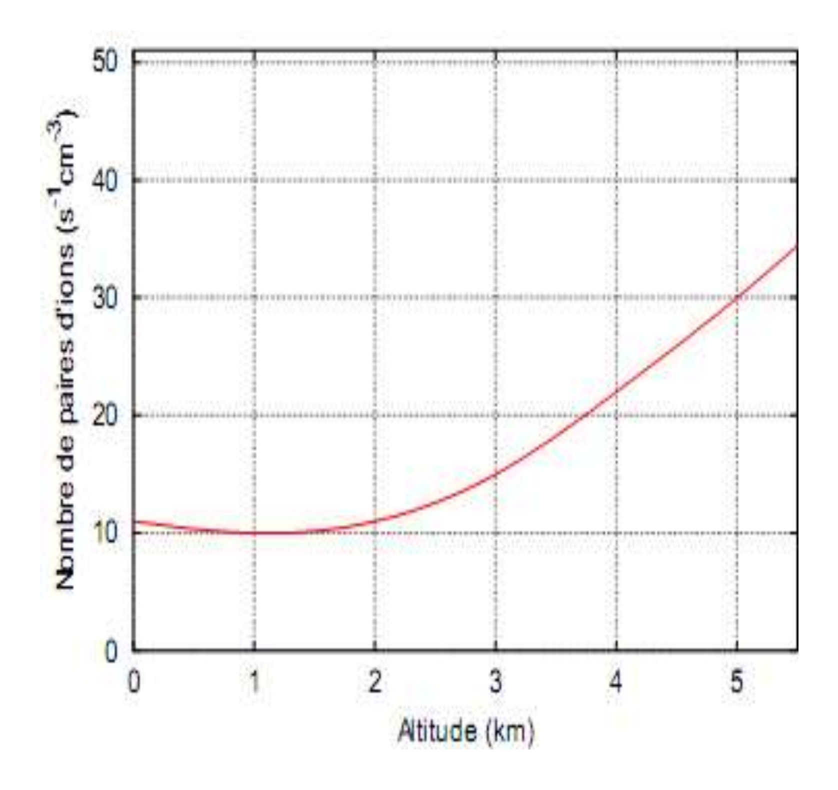
الشكل 1: تجربة هاس المشهورة في قياس الأشعة الكونية واثبات مصدرها [4]

حيث استعمل منطادا وجهزه بـ (إلكتروسكوب) وصعد به نحو5300 م فلاحظ أن الإشعاعات المؤينة في الجو (في ذلك الإرتفاع) تفوق نظيرتها في الأرض بحواليْ ثلاثة أضعاف، ولاحظ عند تجاوزه لارتفاع (1 كم) أن الوريقات الرفيعة فى المكشاف الكهربائى (إلكتروسكوب) سجلت شحنات كهربائية كانت تزداد بشكل منتظم مع ارتفاع المنطاد كما هو مبين في

شكل 2 . مما استنتج أن الإشعاعات الكونية آتية لا محالة من الفضاء الخارجي ؛ وكررت تجاربه فى عام (1914) على يد العالم كولهورستر Kolhörster الذى مد القياسات حتى ارتفاع (9200 م) [4] [1] .

"أطلق مصطلح الاشعة الكونية cosmic rays في العشرينات من القرن العشرين بواسطة العالم روبرت مليكان Robert Millikan الذي قام بعمل قياسات للتأين بسبب الاشعة الكونية من أعماق مياه البحار إلى ارتفاعات عالية وكذلك حول العالم [1]. إعتقد مليكان ان قياساته اثبتت بان الاشعة الكونية مكونة في الاساس من اشعة جاما فقط أي فوتونات ذات طاقة عالية جدا" ؛ وكان الاعتقاد السائد هوأن الأشعة الكونية مكونة من أشعة كهرومغناطيسية، حتى تم اختراع عداد (جيجر . مولر)، ليتم التعرف على طبيعة الاشعاع المؤين بدراسة تغيرات تدفقه تبعا للارتفاع عن الأرض حيث تبين أن معظم الأشعة الكونية عبارة عن جسيمات مشحونة وليست فقط فوتونات [1] .

أصبح السؤال المطروح من أين أتت هذه الجسيمات وما هومصدرها؟



الشكل 2 : نتائج هاس والتي تمثل زيادة الجسيمات المشحونة مع الارتفاع، أي تتناسب تدفق الأشعة الكونية طرديا مع الارتفاع إلى الفضاء (1911-1912) [5].

3.1 أصل الأشعة الكونية

منذ اكتشاف الأشعة الكونية في القرن الماضي والأسئلة تحوم حولها. ومن أهمها وأكثرها غموضا منبع ومنشأ الأشعة الكونية العالية الطاقة (UHECR) . والسؤال المطروح من أين تستمد طاقتها وما مصادرها ؟ .

فقد رشح العلماء بعض المصادر لهذا النوع من الأشعة الكونية أهمها : أنوية المجرات النشطة – AGN -، البلازارات والمستعرات الأعظمية، المناطق المحيطة بالثقوب السوداء والنجوم النابضة [6].

فالمستعر االأعظم هوالمرشح الأمثل لهذه الجسيمات، فعند موت النجوم تنفجر على شكل مستعر أعظم وتحرر طاقة نحو (J) 10^{44} جول، و تقذف بالمادة نحوالفضاء حيث تصل سرعة الجسيمات إلى 10^{15} إلكتروفولط وأكثر .

4.1 أطياف الطاقة للأشعة الكونية

أطياف الطاقة مرفقة في المنحنى شكل 3 يوضح مخطط الطيف التفاضلي للطاقة للأشعة الكونية الابتدائية الذي يتميز بالانتظام شبه تام خصوصا في المجال (eV) $10^{10} - 10^{21}$ وهوخاضع لقانون *Poisson Law* التالي :

$$\frac{dN}{dE} \propto E^{-\gamma}$$

المعادلة1 : قانون Poisson Law [7].

حيث:

N	عدد الجسيمات
E	الطاقة الحركية
γ	الدليل الطيفي

يعتقد العلماء أن معظم الأشعة الكونية التي تصل طاقتها إلى (eV) 10^{15} على الأقل، تنشأ من داخل مجرتنا.

فوق هذه الطاقة المرتبطة بما يسمى "الركبة"، يتكاثف الطيف الطاقوي قليلا.

فوق ما يسمى "الكاحل" في طاقات حوالي (eV) 5×10^{18}، يتسطح الطيف مرة أخرى؛

غالبًا ما يتم تفسير هذه الخاصية الأخيرة على أنها تقاطع بين الجسيمات من أصل مجري الأكثر صلابة والجسيمات فائقة الطاقة من أصل خارج المجرة [8].

حيث من خلال شكل 3 نلاحظ أن :

- من $10^{10} - 10^{15}$ (eV) حيث يتغير التدفق التفاضلي بالصيغة $dN/dE \sim 10^{-2.7}$ مما يدل أن الجسيمات قادمة من داخل مجرتنا مثل: الرياح الشمسية والتفاعلات الحاصلة من الإندماج النووي فيها وغالبا جسيماتها تكون من إلكترونات ونيترونات.

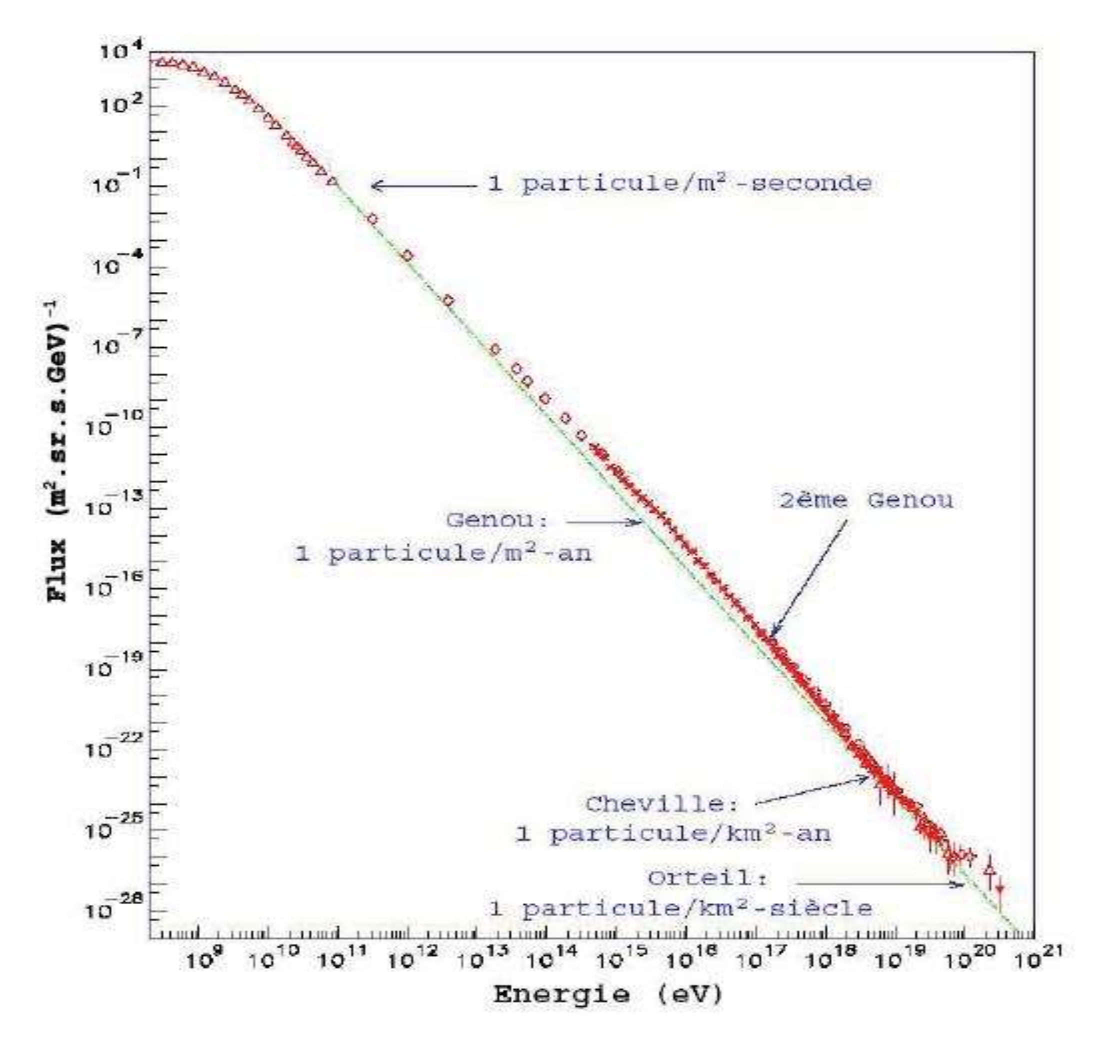
حوالي (eV) $3\text{-}5 \times 10^{15}$، حيث يتغير المنحدر اللوغاريتمي الدليل الطيفي من حوالي 2.7 إلى 3، يشار إليها عادةً باسم الركبة (knee1) ؛ ومصدرها عادة جسيمات المستعرات العظمى والنجوم النباضة [9].

حوالي (eV) 5×10^{17}، حيث يصبح المنحدر يساوي تقريبًا دليل الطيف الطاقوي 3.3 يسمى الركبة الثانية (knee2)؛ حاليا لا توجد أجرام تصدر جسيمات بهذه الطاقات في مجرتنا؛ أي أن مصدرها من خارج المجرة مثل: انفجارات أشعة غاما ومناطق حول الثقوب السوداء الكبيرة، أنوية المجرات النشطة، ويظهر جليا تناقص تدفق الجسيمات الأولية .

نحو(eV) 3×10^{18}، حيث ينحدر منحدر الطيف الطاقوي مرة أخرى نحوقيمة حوالي 2.7-3.0 وتقل سرعة التناقص على عكس ما يحدث عند الركبة، تسمى تلك المنطقة بالكاحل (ankle) ؛ عدد الجسيمات الواردة بالنسبة في هذا المجال نادرة جدا حيث تقدر بجسيم واحد لكل كيلومتر مربع في السنة ($Particle . km^{-2} . year^{-1}$)، وهذه المعطيات بالكاد تسمح لنا برسم مخطط له في هذا المجال الطاقي العالي جدا [11] [9] [5].

لما تتجاوز الطاقة المجال $E \sim 9*10^{19} \text{-} 10^{20}$ eV ينعدم التدفق تقريبا حيث يصل إلى جسيم واحد لكل كيلومتر مربع في القرن ($Particle . km^{-2} . century^{-1}$) ويدعى ذلك المجال بـ: (toe) إصبع (القدم). أعتقد أننا لما نتقدم تكنولوجيا – في المستقبل القريب – فيما يخص الكواشف والتلسكوبات ستتحسن قيمة التدفق في هذا المجال وسنستطيع رسم خريطة للجسيمات الفائقة الطاقة وبذا نعرف شيئا عن سلوكها لتتضح الصورة حولها.

فالعلماء والأبحاث على قدم وساق لفك شفرة معضلة تلك الجسيمات خاصة فيمايخص مصدرها وآلية اكتسابها تلك الطاقة.



الشكل 3: مخطط تفاضل طيف الطاقة للأشعة الكونية الإبتدائية [10][9] [5] [2].

5.1 وفرة العناصر الكميائية للأشعة الكونية

الأشعة الكونية ذات الطاقات المنخفضة، - والتي تقدر بـ 10^{12} إلكترون فولط – مكونة من :

98٪ انوية ذرات

2٪ الباقية هي عبارة عن إلكترونات .

أما أنوية الذرات المذكورة آنفا فهي عبارة عن :

- 85 ٪ من البروتونات.
- 12 ٪ أنوية ذرات الهيليوم.
- 01 ٪ تمثل ألأنوية الأكثر ثقلا.

لتوضيح الوفرة العنصرية للأشعة الكونية الأولية نلاحظ الصورة المرفقة شكل 4 فيما يتعلق بالتركيب الكيميائي للنظام الشمسي البروتونات هي الجسيمات السائدة (≈ 85٪)

الجسيمات α (≈ 12٪).

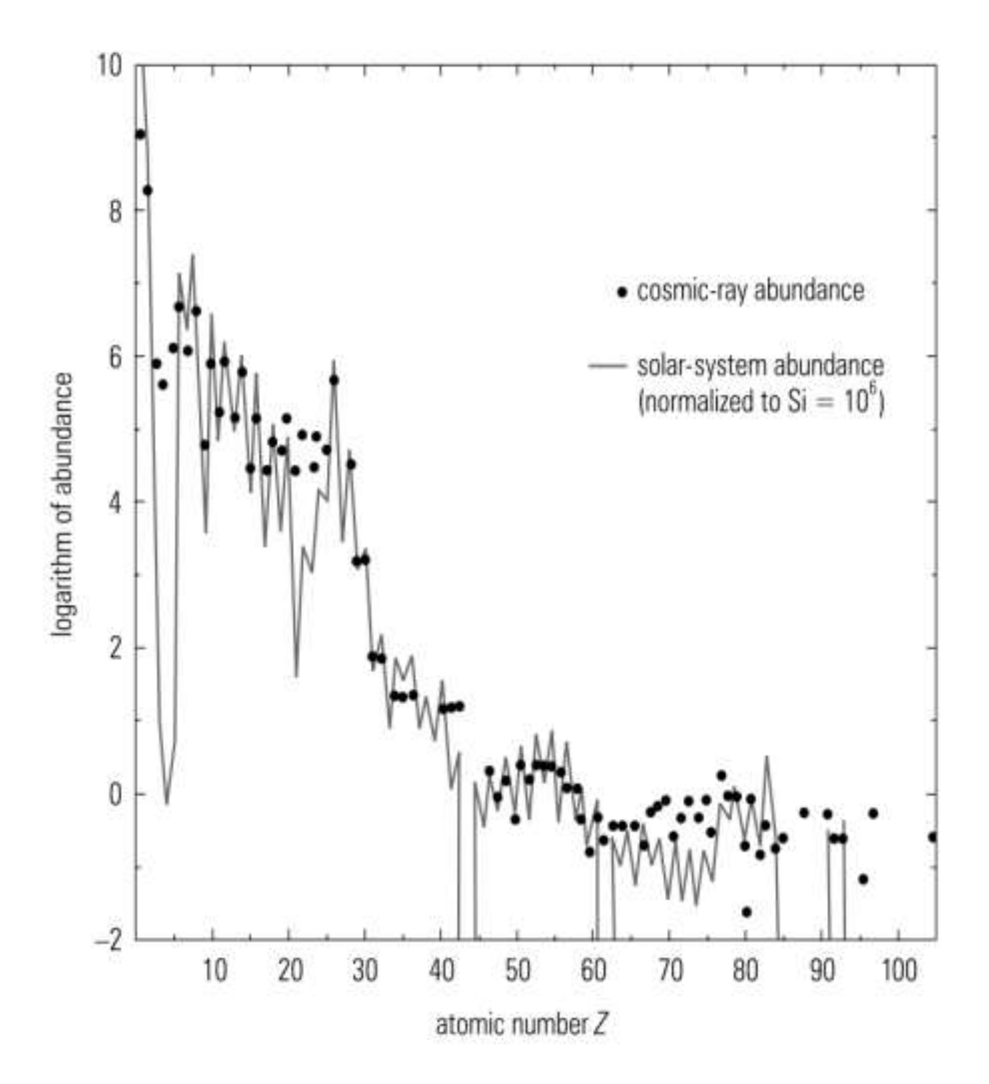
النوى تمثل 3٪ فقط.

التركيب الكيميائي للنظام الشمسي له العديد من الخصائص المشتركة مع تلك الخاصة بالأشعة الكونية. وتوافقها في التدفق 200 جسيم/م^2.ثانية وحوالي 15٪ من النشاط الإشعاعي الطبيعي.

تترك الاشعة الكونية بصماتها عند توغلها في الغلاف الجوي حيث تأين ذراته وجزيئاته وتنتج عددا من النظائر الغير المستقرة مثل كربون 14 **[2]**.

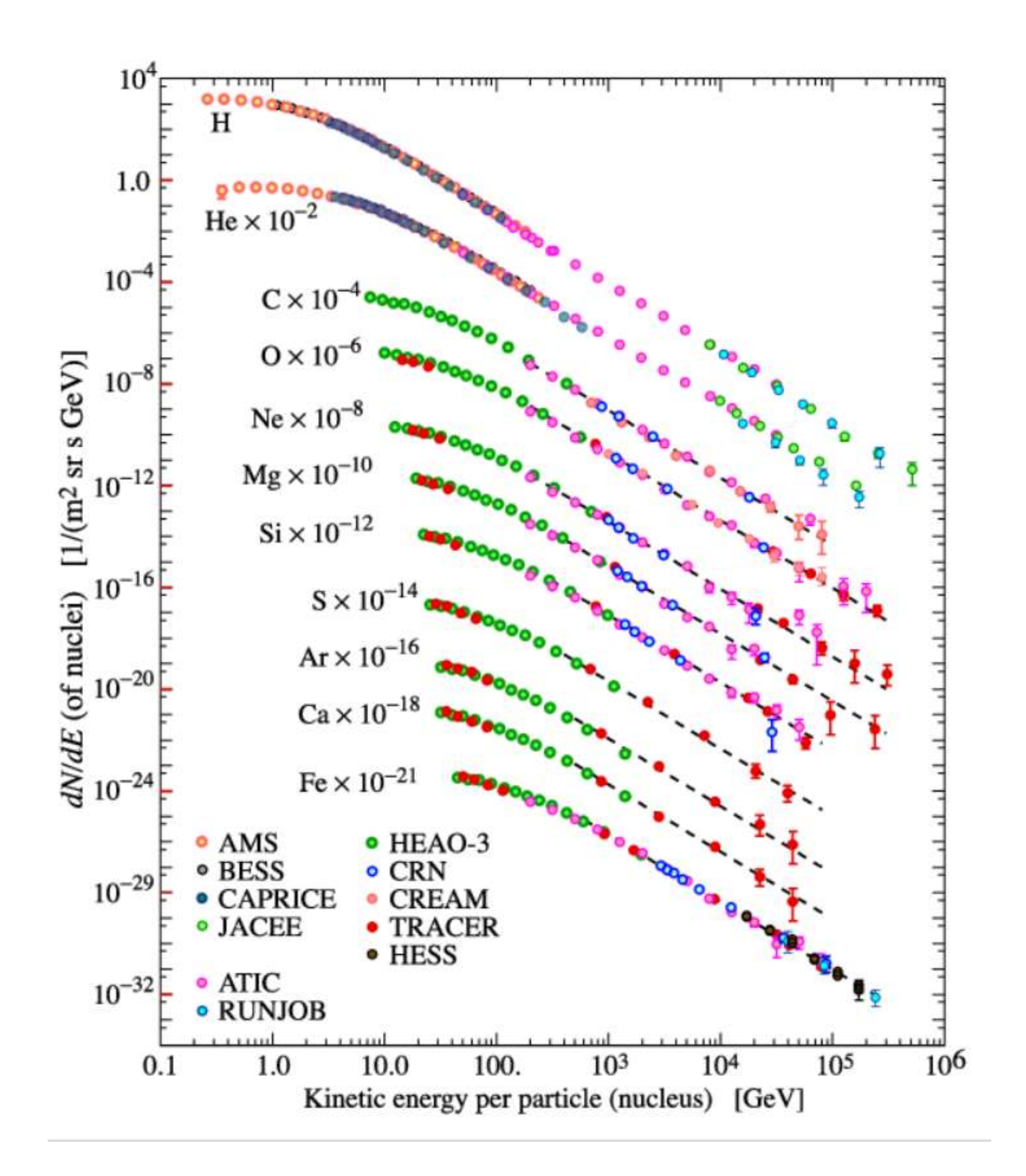
لأن وصول الجسيمات الأولية بطاقة عالية تفوق10^{20} eV، دليل على أن هنالك مسرعات فيزيائية فلكية قوية للغاية وهي الوسائل الكفيلة بدراستها، مثل المستعيرات العظمى والحقل المغناطيسي العالي في الوسط بين النجمي.

يمكن استخدامها لدراسة صلاحية القوانين الفيزيائية في ظل الظروف والطبيعة القاسية التي تتصف بها، يمكن أن تكون أدلة على الفيزياء الجديدة أوالجسيمات الجديدة [8].



الشكل 4: وفرة العناصر الطبيعية للأشعة الكونية الإبتدائية [7].

لقد استخلصت من بعض التجارب والبيانات المتحصل عليها من المراصد الفلكية أن الطاقة تتناسب مع الشحنة، فعلى سبيل المثال أن العناصر الكيميائية المتوفرة في المجال (eV) $10^9 - 10^{10}$ تتشكل من الأنوية الخفيفة كالبروتونات وجسيمات ألفا كما هو موضح في المخطط البياني شكل 5 وكل عنصر لديه وفرته الخاصة به ومستواه الطاقوي.



الشكل 5: البنية المادية للطيف الطاقي التفاضلي للأشعة الكونية الإبتدائية، وحيث تظهر بعض النتائج المرصودة من مختلف المراصد والتليسكوبات.[4]

6.1 قطع GZK

قام العالمان ويلسون وبنزون (Wilson ،Penzion) في سنة 1965 بملاحظة إشعاع يشابه إشعاع الجسم الأسود وذلك عند درجة حرارة 2. 7 K، وقد تنبأ عنه العالم قاماو(Gamow) في أربعينات القرن الماضي حيث تحدث عن إشعاع نتج عن الانفجار العظيم وهو عالي الطاقة (ذوسخونة شديدة) في بداية ميلاد الكون. ومع التوسع السريع للكون أخذت الطاقة تبرد شيئا فشيئا الى أن بلغت درجة حرارتها في الوقت الحالي 2.7 K، فإشعاع الخلفية الكونية CMB يوجد في كل مكان ويأتي في جميع الإتجاهات وبنفس الشدة. فكثافة CMB تقدر ب:300 فتون / سم^3 [12].

تنبأ كل من كيزمان وستيفن وجيزان (Geisen, Zatspin, Kuzmin) في سنة 1966 أن سبب ضعف تدفق جسيمات الأشعة الكونية خاصة مستوى الكاحل في الطيف الطاقوي يرجع إلى تفاعل الأشعة الكونية عالية الطاقة مع فوتونات CMB حيث يطلق على هذه الظاهرة اسم حدGZK [9] .

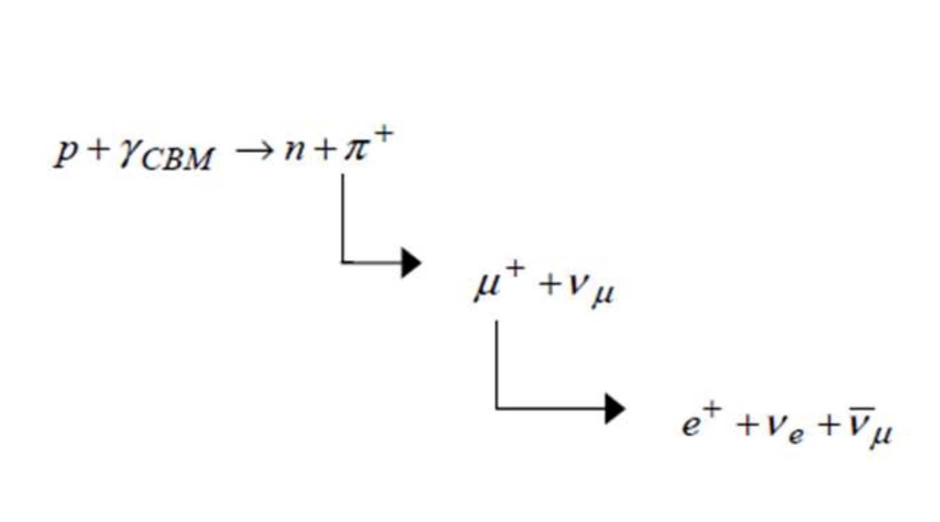
لكن السؤال المطروح بخصوص الأشعة التي تفوق طاقتها (eV) 10^{19} عن كيفية اكتساب طاقاتها وعن مصادرها وآلية تسريعها، حيث أنها لا تستطيع الحفاظ على طاقتها خصوصا أنها تسافر عبر آلاف تصل ملايين الفراسخ الفلكية 100 (Mpc)

تتفاعل بروتونات عالية الطاقة حوالي (eV) 10^{19} مع أشعة CMB وينتج عن تفاعلهما بييونات، إلكترونات بوزترونات بروتونات، نيوترينوات كما تبينه المعادلات الآتية [12]:

$$p + \gamma_{CBM} \rightarrow p + e^- + e^+$$

$$p + \gamma_{CMB} \rightarrow \Delta^+ \rightarrow P + \pi^0$$

$$\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$$



فوجود شعاع الخلفية الكونية CMB يقلل من حظوظ وصول الجسيمات الأولية، فضلا عن فقدان طاقة البروتون المتفاعل معها لهذا لا تصل الينا بوفرة بطاقة أكبر من طاقة حد GZK[1] [9].

المسافة التي يقطعها البروتون قبل حصول التفاعل مع شعاع الخلفية الكونية CMB تعطى بالعلاقة التالية :

$$\frac{dE}{dX} = -\frac{E}{L(E)}$$

المعادلة2 : الدالة متعلقة بالمسافة المقطوعة وطاقة البروتون [11].

وهذه الدالة متعلقة بالمسافة المقطوعة وطاقة البروتون كما يبينه جدول1

$E\ (eV)$ الطاقة	$\ell(Mpc)$ المسافة
$5 * 10^{19}$	~1000
$8 * 10^{19}$	~300
$1 * 10^{20}$	~150
$3 * 10^{20}$	~20
$1 * 10^{21}$	~15

الجدول1 :جدول يمثل المسافة التي يقطعها البروتون قبل تفاعله مع فوتون شعاع الخلفية الكونية (CMB) [12].

$$\ell = 6 \exp\left(\frac{3*10^{20}}{E}\right) (Mpc)$$

[1] ويطلق عنها بـ: اسم القطع GZK.انظر [11] دراسة الخواص [17]

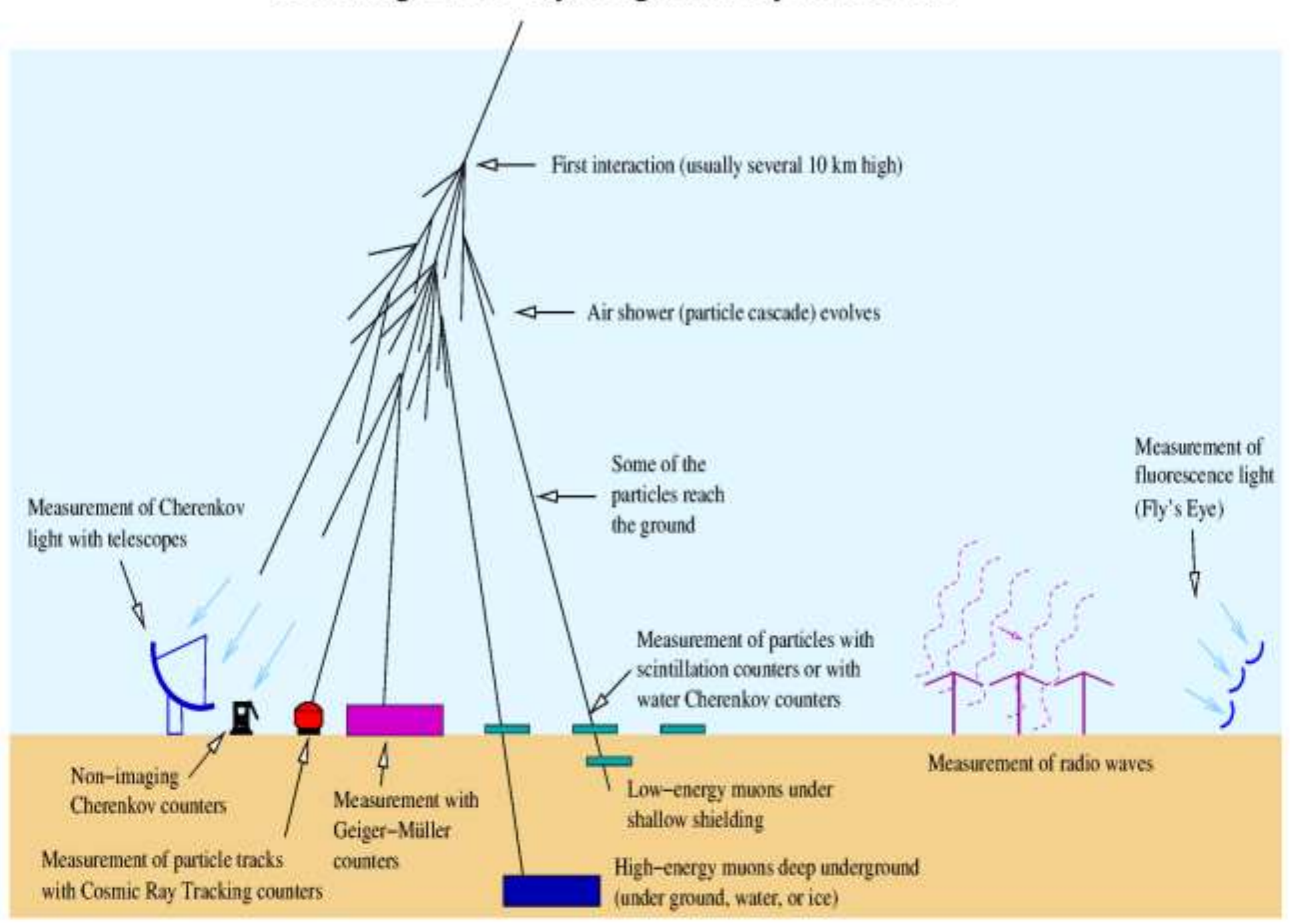
الفصل الثاني

2. تـــفاعـل الأشـــعــة الكــونـــيــة مـــع الــــغــلاف الــــجــــوي لــلأرض

1.2 تفاعل الأشعة الكونية مع الغلاف الجوي للأرض:

تمتاز الأشعة بالكونية بالمجالات الطاقوية العالية و بندرة تدفق الجسيمات الأولية عالية الطاقة (eV) $E<10^{18}$ ، سمحت لنا بعض التجارب السابقة من اعتبار الغلاف الجوي الخارجي كأكبر وأوسع مخبر ومسرع للجسيمات عالية الطاقة ومسعر CALORIMETER في نفس الوقت.

فالجسيمات الأولية عند ارتطامها بالغلاف الجوي أتموسفير تصنع سلاسل أو دش من الجسيمات الثانوية، والتي تلتقط عبر التليسكوبات وكاشفات الجسيمات التي تتواجد في الأرض.



الشكل 6: المخطط يبين تفاعل الجسيمات الإبتدائية الأولية مع الغلاف الجوي وكيفية رصد وكشف الجسيمات الثانوية من خلال التليسكوبات والكاشفات [12].

2.2 الشلالات الهوائية Air Showers

الشلالات الهوائية أو الزخات الهوائية هي عبارة عن تفاعلات تقع بين الجسيمات الأولية للأشعة الكونية والغلاف الجوي حيث ينتج عن تلك التفاعلات النووية عالية الطاقة ملايين الجسيمات الثانوية التي تدعى بالشلالات.

وتصحب تلك الشلالات تفاعلات نووية وتفككات، مما ينتج عنها نوعين من الشلالات [13]:

3.2 الشلال الكهرومغناطيسي

تتكون المركبة الكهرومغناطيسية من سلسلة تفاعلات تشترك فيها جسيمات خفيفة لكنها ذات طاقات عالية جدا وتقتصر في مركبتها على الفتونات والإلكترونات و البوزيترونات، كما هو موضح في شكل 7. فهي مقتصرة عليها إلا أن السلسلة الهدرونية تحتوي على مركبات السلسلة الكهرومغناطيسية، غير أنها لا تطغى عليها حيث لا تشكل إلا نسبة بسيطة منها .

أهم الظواهر الفيزيائية التي تحدث فيها تفاعلات المركبة الكهرومغناطيسية:

التأثير الكهروضوئي Photoelectric effect

التشتت المترابط Coherent Scattering

تأثير كومبتون Compton Effect

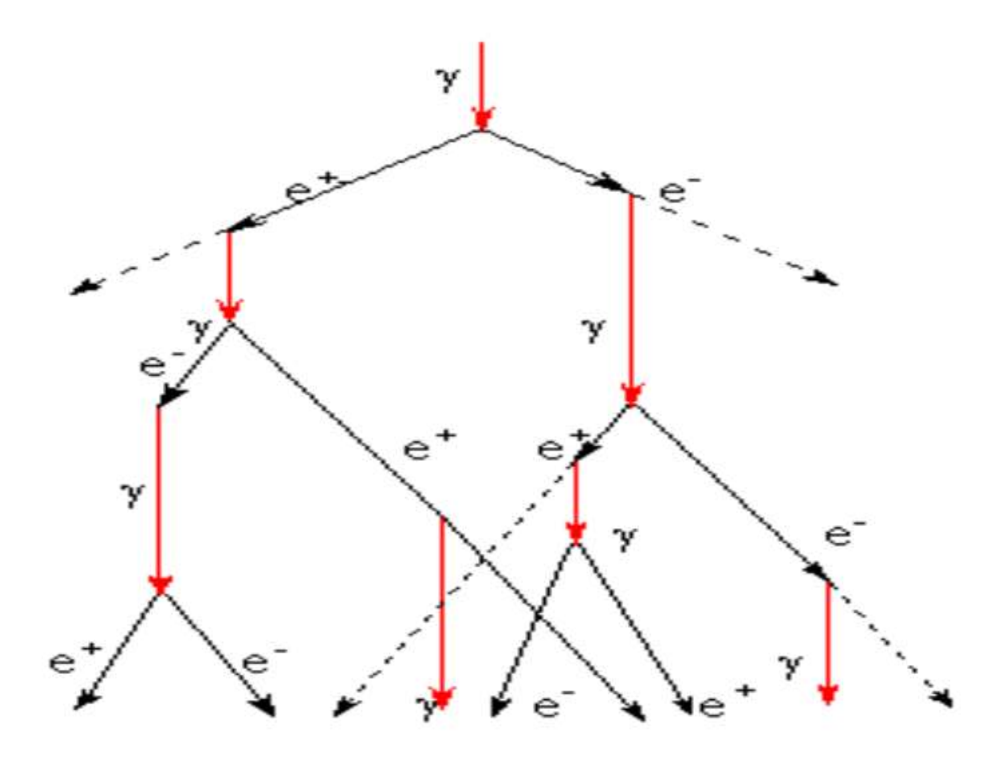
إنتاج الأزواج Pairs production

التحلل الضوئي Photodisintegration

إشعاع الإنكباح Bremsstrahlung

ظاهرة شعاع شيرينكوف Cherenkov effect

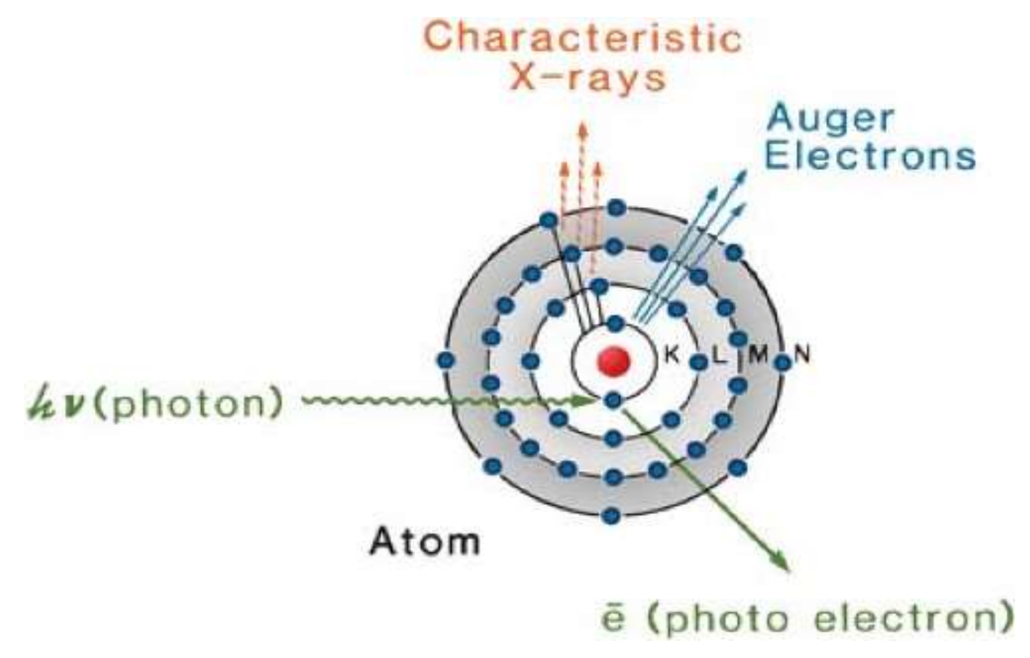
وسنتطرق إليها في بحثنا هذا ليتضح لنا النسق الذي تسلك فيها جسيمات الأشعة الكونية وتفاعلاتها.



الشكل 7: السلسلة الكهرومغناطيسية [14] .

1.3.2 التأثير الكهروضوئي Photoelectric effect

يكون التأثير الكهروضوئي Photoelectric effect عندما يتفاعل الفتون المتسلل الى الذرة مع الإلكترون الداخلي المتعلق بالمدار K أو L، M، N، حيث يمتص الفتون كليا من قبل الإلكترون فيكتسب طاقة تخوله أن يغادر مداره إلى مدار ذي مستوى طاقي أعلى من ذي قبل، لكن سرعان ما يرجع إلى مداره الإبتدائي – بسبب عدم الاستقرار، كون أن الإلكترون في حالة إثارة – فيفقد طاقة على شكل فوتون. أما إذا كانت الطاقة الفوتون أعلى فإن الإلكترون يتحرر كليا من الذرة، مما يسبب في فراغ وفي عدم استقرار للذرة وينشأ عن ذلك نزول إلكترونات من المدارات الأعلى لملإ الفراغ [15]، حيث تفقد طاقاتها على شكل فوتونات - أشعة سينية - كما هومبين في شكل 8



الشكل 8: التأثير الكهروضوئي Photoelectric effect [16]

2.3.2 التشتت المترابط Coherent Scattering

يكون التشتت المترابط Coherent Scattering أوما يعرف كذلك بـ: تشتت ريلي Rayleigh Scattering، عندما يسقط الفوتون على الإلكترون في مداره يرتد الفوتون بدون أن يفقد طاقته، بحيث لا يغير في الإلكترون شيئا، لا من ناحية طاقته الحركية ولا من حيث الوسط الذي فيه – أي لا يمتصه الوسط -.

هو تشتت الفوتون الساقط بزاوية صغيرة جداً. وهذا النوع من التفاعلات هو الأكثر حدوثاً في المواد ذات عدد ذري Z كبير وعند طاقات منخفضة للفوتونات الساقطة [17] [18].

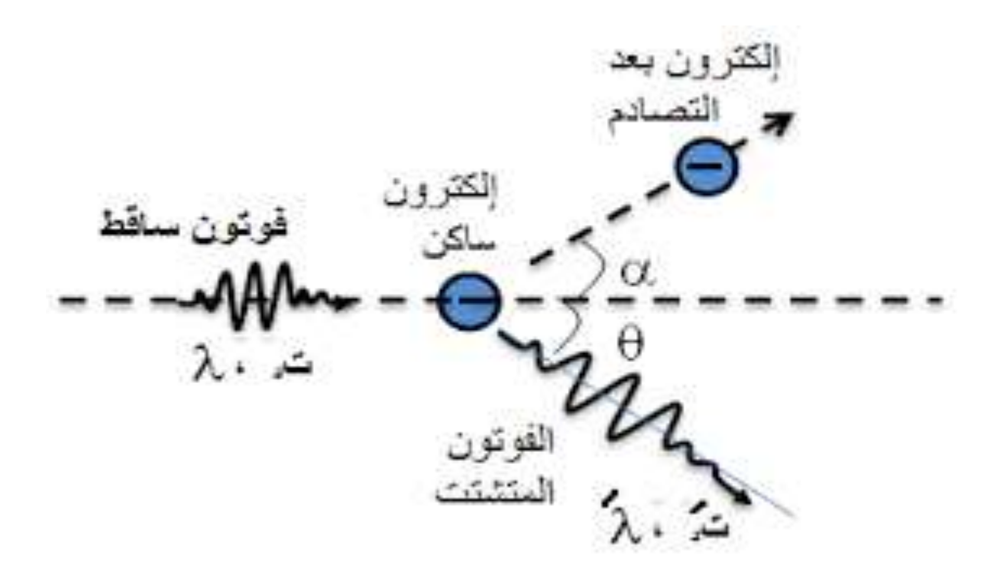
3.3.2 تأثير كومبتون Compton Effect

يحدث تأثير كومبتون Compton Effect عندما يتفاعل الفتون الساقط على الإلكترون الذي هو مرتبط بمداره الذري. فيتحرر هذا الأخير مكتسبا سرعة ابتدائية، شرط أن تكون طاقة الفوتون أعلى بكثير من طاقة ربط الإلكترون، فينتج عنه انحراف للفتون بزاوية وطاقة ضعيفة من ذي قبل وتردد مختلف – أي قبل تفاعله مع الإلكترون – كما هو موضح في شكل 9 [18].

وتعطي العلاقة الفيزيائية معادلة 3، حيث يحسب بها تردد وطاقة الفوتون والزاويتان θ و φ حيث h ثابت بلانك، C سرعة الضوء، λ هي الطول الموجي للفوتون الساقط، m_0 كتلة سكون الإلكترون الحر، λ' هي الطول الموجي للفوتون المتشتت،

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_o c}(1-\cos\theta)$$

المعادلة 3: العلاقة الفيزيائية لحساب تأثير كومبتون Compton Effect [17].



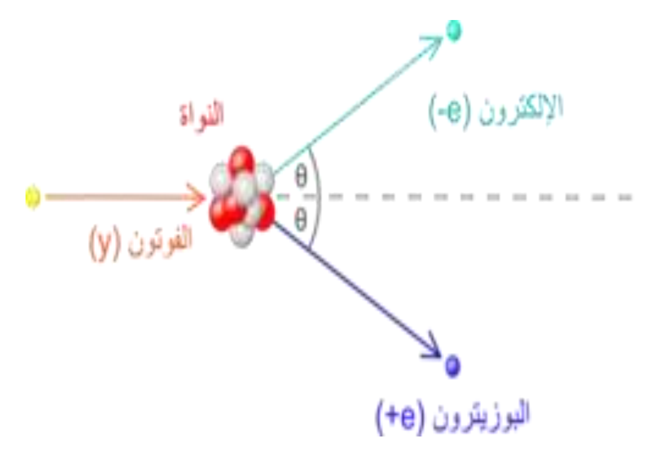
الشكل 9: تأثير كومبتون Compton Effect [19].

4.3.2 إنتاج الأزواج Pairs production

يكون تفاعل إنتاج الأزواج Pairs production لما يقترب الفوتون من نواة الذرة بقدر كاف بحيث يحدث التفاعل بينه وبين مجال النواة الكهربائي – حقل كولومبي - حينها يفنى الفوتون كليا وينتج عنه زوجا من إلكترون و بوزترون.
وهذا التفاعل لا يحدث إلا إذا كانت طاقة الفوتون أكبر من 1.022 MeV، وهي الطاقة اللازمة لإنتاج كتلة السكون لزوجين من إلكترون و بوزترون. أما إذا زادت الطاقة أكثر من ذلك القدر 1.022 MeV، فإن الزيادة تتحول إلى طاقة حركية للجسيمات المنتجة بعد التفاعل كما هو موضح في شكل 10

وتعطى بالعلاقة التالية التي تمثل إنتاج الأزواج [18].

$$\gamma + nucleus \rightarrow e^{-} + e^{+} + nucleus$$



الشكل 10: تفاعل إنتاج الأزواج Pairs production [20].

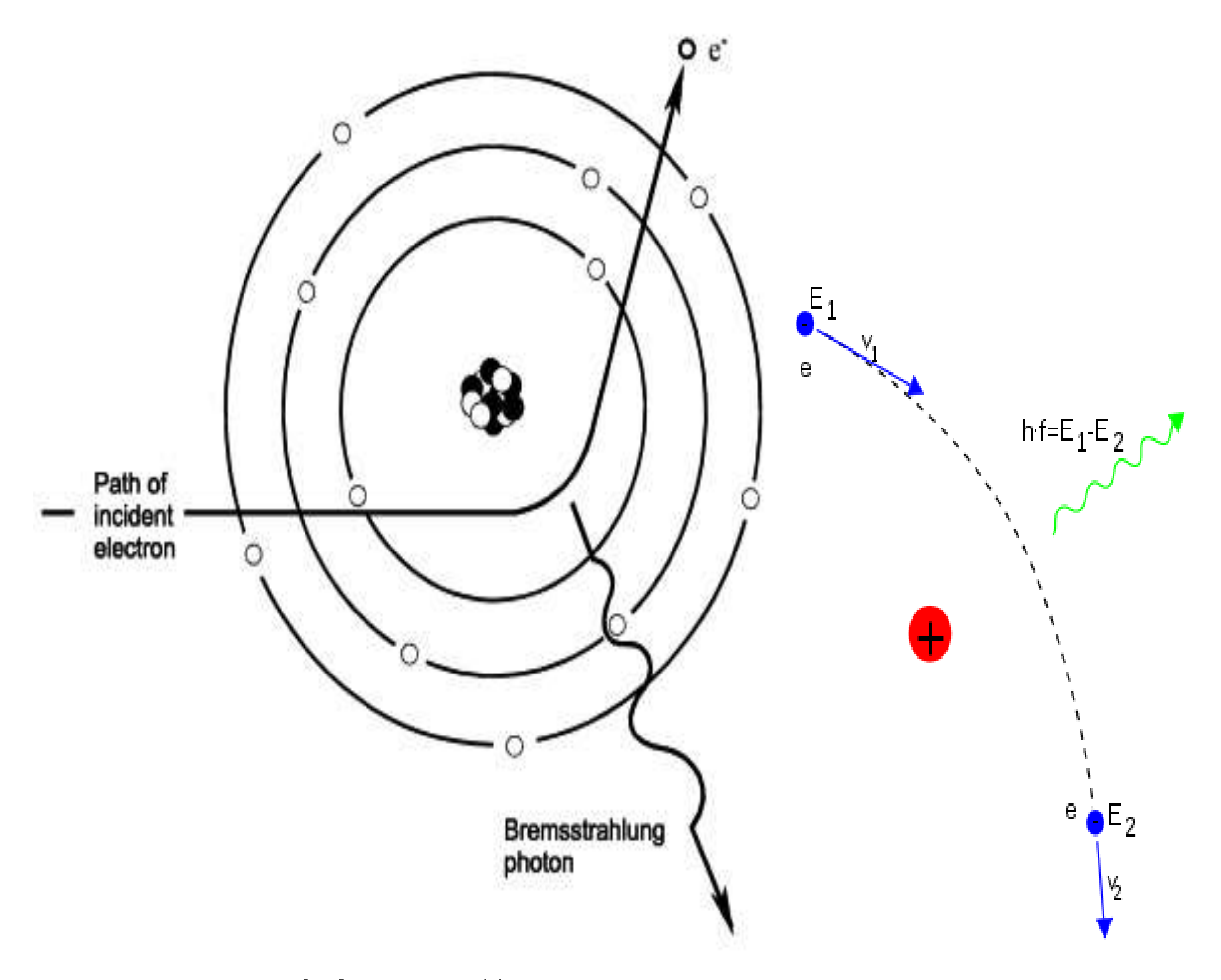
5.3.2 التحلل الضوئي Photodisintegration

يحصل التحلل الضوئي Photodisintegration عندما تمتص النواة الفوتون - عالي الطاقة نسبيا - ثم تقذف نترونا أوأكثر، ولا يحدث هذا التفاعل إلا إذا كانت طاقة الفوتون ما بين 1.666 MeV و8.5 MeV وهي طاقة العتبة لا يحدث التفاعل بدونها، وتتغير العتبة حسب نواة الذرة الممتصة مثل Be طاقة العتبة الخاصة به هي 1.666MeV .

ويحدث تسارع للنترونات المقذوفة كلما كانت طاقة الفوتون الممتص أعلى من العتبة، حيث الطاقة الزائدة عن العتبة تتحول إلى طاقة حركية بالنسبة للنترون المقذوف من طرف النواة .
أما إذا كانت طاقة الفوتون عالية بكثير ينجر عنه انبعاث وقذف جسيمات مشحونة من قبل النواة [17].

6.3.2 إشعاع الانكباح Bremsstrahlung

تحدث ظاهرة إشعاع الانكباح أوالكبح Bremsstrahlung عندما يتفاعل جسيم مشحون له طاقة حركية كبيرة مع جسيم مشحون آخر فيتأثر الأول بالحقل المغناطيسي للجسيم الثاني فتتناقص الطاقة الحركية للجسيم الأول منتجة بذلك فوتونات - أشعة سينية- ، ومثال ذلك عندما تنكبح الإلكترونات السريعة جدا متأثرة بالحقل الكهربائي الكبير الخاص بالنواة منتجة بذلك فتونات على شكل أشعة سينية كما يظهره شكل 11،
وتختلف طاقة الفتونات المنبعثة طبعا حسب الطاقة الحركية للجسيم المكبوح، فكلما كانت طاقة الجسيم عالية، زادت طاقة الفوتونات الصادرة عن الكبح [18].



الشكل 11: ظاهرة الإنكباح Bremsstrahlung [15].

7.3.2 تأثير ظاهرة شعاع شيرينكوف Cherenkov effect

تحدث ظاهرة شعاع شيرينكوف Cherenkov effect عندما تنتشر الجسيمات المشحونة في وسط ما – هواء، غاز، ماء، جليد... – بسرعة تفوق سرعة الضوء في ذلك الوسط، حيث تنسأ أشعة زرقاء أوضوء أزرق باهت وذلك بسبب تأيين الوسط من طرف تلك الجسيمات فائقة السرعة فتنكبح سرعتها وتطلق إشعاع شيرينكوف كما هوموضح في شكل 12 وتعطى العلاقة الفيزيائية بالشكل التالي:

$$\frac{c}{n} < v < c$$

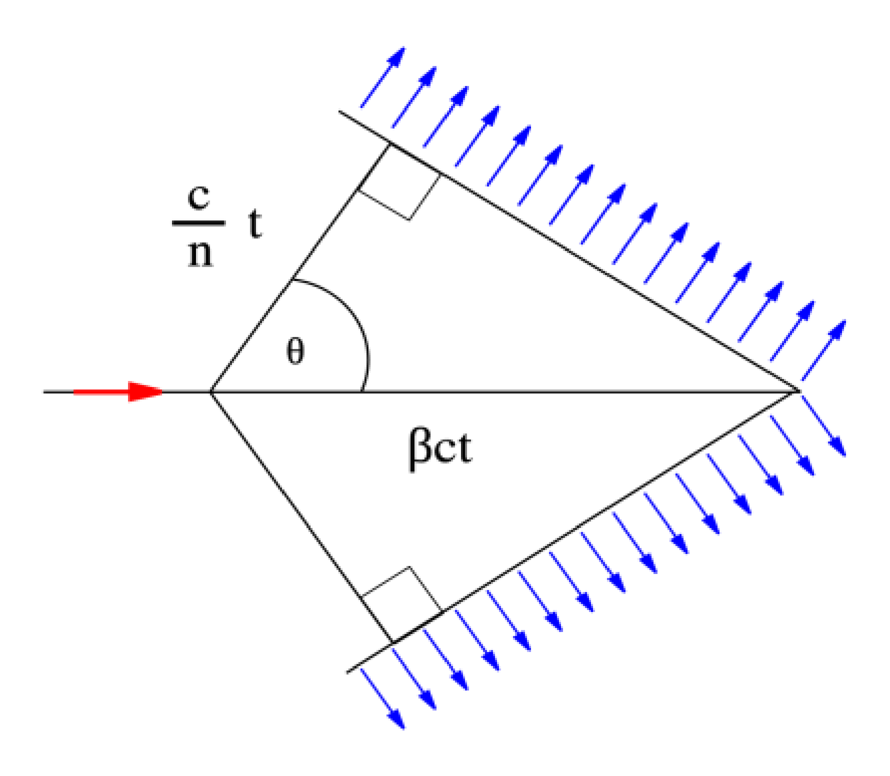
حيث : c سرعة الضوء في الفراغ . n: قرينة إنكسار الوسط . v: سرعة الجسيمات . و$\beta = \frac{v}{c}$

θ_c: زاوية شيرينكوف [21].

$$\boldsymbol{v \geq \frac{c}{n} \Leftrightarrow \beta \geq \frac{1}{n}}$$

$$\boldsymbol{\cos\theta_c = \frac{1}{\beta\, n} \Leftrightarrow \theta_c = \arccos\frac{1}{\beta\, n}}$$

المعادلة 4 : معادلة لحساب زاوية شيرينكوف [21][22].



الشكل 12 : إنطلاق ظاهرة شعاع شيرينكوف Cherenkov effect عندما تجاوزت الجسيمة سرعة الضوء في الوسط. وقد مثلت الجسيمة بالسهم الأحمر وإشعاع شيرينكوف Cherenkov بالأسهم الزرقاء [22].

4.2 الشلال الهادروني

الشلال الهادروني هوتفاعل نووي للجسيمات الأولية أو النواة مع ذرات الغلاف الجوي . حيث ينتج عنه تواجد الهدرونات في قلب الشلال معظمها أساسًا من بيونات (π^0)،π^+ ، π^- وهو العنصر الغالب في نواتج التفاعل والكايونات $(K^-، K^+،K^0)$.

زمن تواجد البيون المتعادل شحنيا π^0 قصير جدا حيث يبلغ ($8.4 * 10^{-17}$ s) ثم يتفكك الى فوتونين 2γ وفقا للمعادلة التالية [10]:

$$\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma \qquad (\%99).$$

وهناك تفاعل آخر لـ: البيون المتعادل شحنيا π^0 لكنه نادر الحدوث، حيث يضمحل ويتفكك إلى فوتون وإلكترون و بوزترون. ويعطى وفقا للمعادلة التالية:

$$\pi^0 \rightarrow e^+ + e^- + \gamma \qquad (01\%).$$

وينجر عن هذا التفاعل الأخير تشكل الأزواج، عند تفاعل الفوتونات مع الأنوية $(e^-،e+)$.

$$\gamma \rightarrow e^+ + e^-$$

وينتج عن تلك الإلكترونات بسبب ظاهرة الكبح أشعة كهرومغناطيسية على شكل أشعة سينية .
وكذلك ينتج عن التقاء المادة والمادة المضادة أشعة كهرومغناطيسية على شكل أشعة غاما على سبيل المثال تفاعل البوزيترون مع الإلكترونات الحرة وإلكترونات النواة.
وتسمى بظاهرة الإفناء [10].

$$e^+ + e \rightarrow \gamma$$

البيونات المشحونة ذات الطاقات العالية تنتج في تفاعلاتها بيونات أخرى $(\pi^0،\pi^+ ،\pi^-)$ وتحدث هذه العملية مرات عدة إلى أن تصل البيونات طاقتها الحرجة E=9 GeV عندها تنتقل إلى سلسلة من التفككات ميونات ونيوترونات

$$\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm + \nu_\mu \quad (\bar{\nu}_\mu) \qquad (\sim 100\%)$$

تنتقل وتنتشر النواتج -الميونات – عبر الغلاف الجوي بعد مدة ليست بالقصيرة تتفكك إلى إلكترونات و بوزيترونات و نيوترينواتها الخاصة بها :

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$$

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$

تتفكك الكيونات إلى نواتج عديدة تظهر في معظمها البيونات كما هو موضح في شكل 13 وينتج عنهم الميونات والأزواج إلكترون، بوزيترون و نيوترونوات وكذا الإشعاع غاما .

$$K^{\pm} \rightarrow \pi^{\pm} + \pi^{-} + \pi^{+}$$

$$K^{\pm} \rightarrow \pi^{\pm} + \pi^{0}$$

$$K^{\pm} \rightarrow \mu^{\pm} + \nu_{\mu} \quad (\bar{\nu}_{\mu})$$

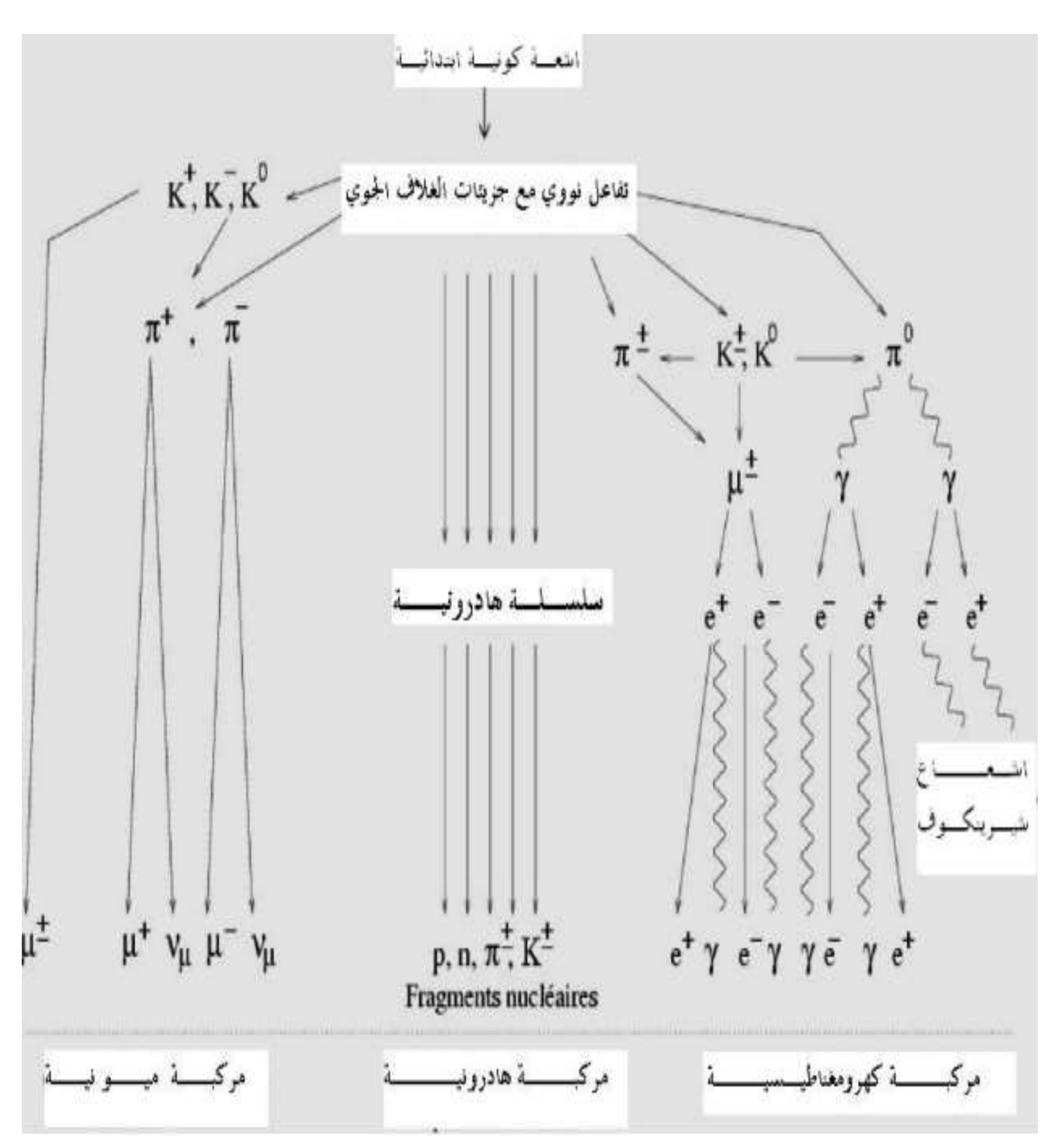
تتكون الأشعة الكونية الثانوية من ثلاثة مركبات أو سلاسل المركبة الهدرونية والمركبة الميونية والكهرومغناطيسية، حيث أخذت كل مركبة اسمها من النواتج النهائية المتحصل عليها، ويدل على ذلك شكل 13

5.2 المركبة الميونية

تتحلل البيونات (π^{-}، π^{+}،π^{0}) وكذلك الكايونات (K^{-}، K^{+}،K^{0}) منتجة بذلك الميونات ونيوترينيوهاتها الخاصة كما هوموضح في شكل 13

$$K^{\pm} \rightarrow \mu^{\pm} + \nu_{\mu} \quad (\bar{\nu}_{\mu})$$

$$\pi^{\pm} \rightarrow \mu^{\pm} + \nu_{\mu} \quad (\bar{\nu}_{\mu}) \qquad (\sim 100\%)$$



الشكل 13: يظهر المخطط تطور الأشعة الكونية الإبتدائية خلال رحلتها في الغلاف الجوي وصولا إلى الأرض وتظهر مركبات السلسلة الهادرونية والكهرومغناطيسية والمركبة الميونية [10][11][13].

6.2 خصائص الشلالات الهوائية

عند دراستنا للشلالات الهوائية من حيث تطورها في الغلاف الجوي وتركيب جسيماتها من حيث النوعية نتطرق إلى بعض خواصها الفيزيائية التي تسهل لنا عملية دراستها وهي:

المحور: محور الشلال هو المستقيم الذي يوافق المنحى الذي تتركه الجسيمات الابتدائية القادمة من الغلاف الجوي، ويعرف أيضا بأنه اتجاه وصول جسيمات الشلال للأرض بحيث تنتشر الجسيمات الثانوية بصفة كلية حول المحور.

القلب: هي نقطة التفاعل حول المحور وصولا إلى الأرض حيث تنتشر فيها الجسيمات الثانوية.

الجبهة: هي تشكل مجموع الجسيمات الثانوية المنتشرة نحو الأرض بسرعة تفوق أوتقارب سرعة الضوء في وسط الغلاف الجوي حيث تضبط جبهة الشلال بعدد الجسيمات المضاعفة الانتشار والتي يكون مسارها طويل باعتبار المقادير الفيزيائية كطبيعة الجسيمة الطاقة زاوية الورود، ...

المقطع العرضي: هو توزيع عدد الجسيمات بدلالة المسافة عن المحور . ويتعلق كذلك بطبيعة الجسيمات الابتدائية والطاقة وزاوية الرأس ... إلخ.

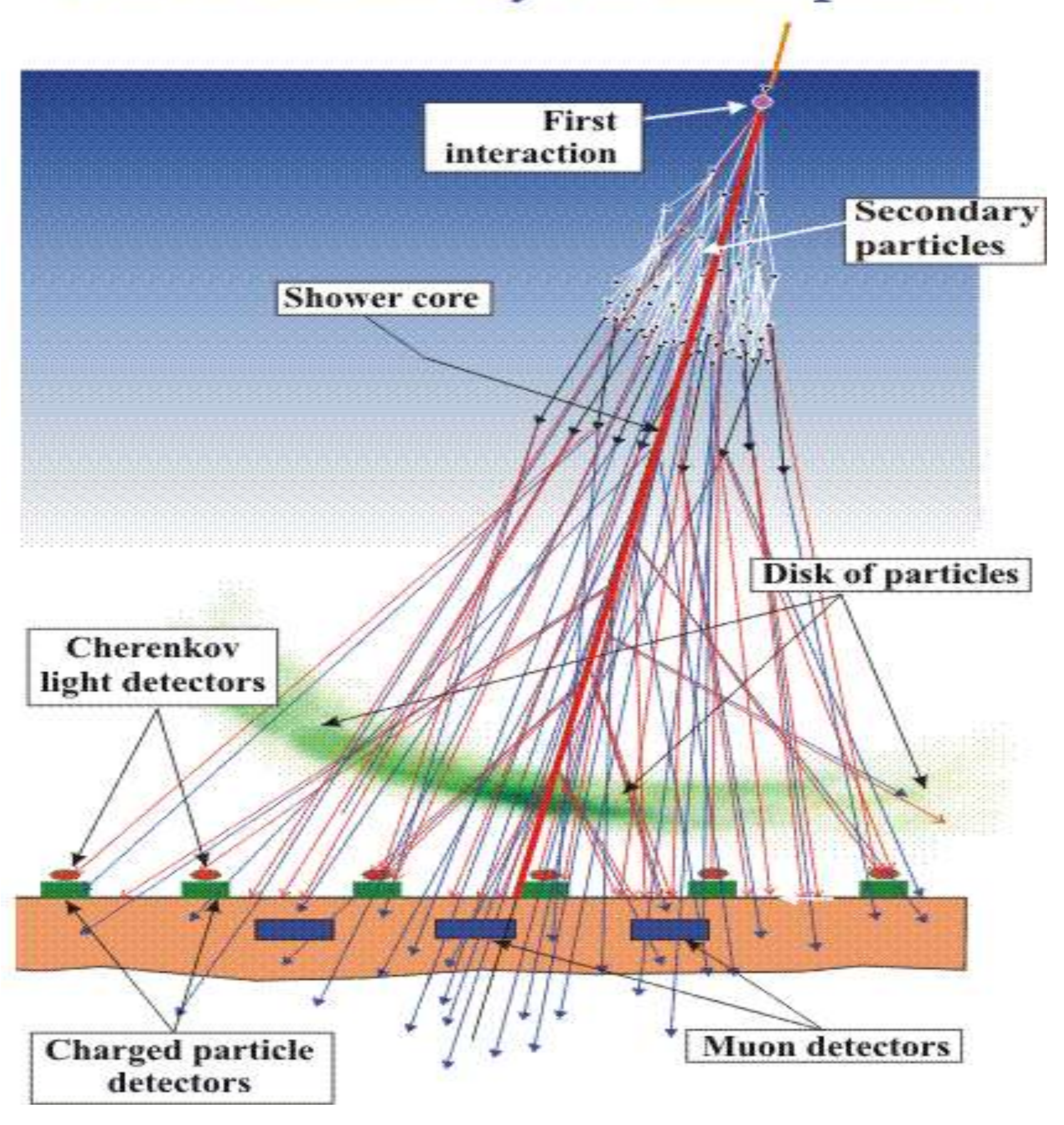
وهوقسم جانبي من الشلال في لحظة معينة، فهو يوفر معلومات عن عدد الجسيمات في مستوى عمودي على انحراف الوصول، ويتم قياسه على الأرض عن طريق إزالة شبكة من أجهزة الكشف المتباعدة بانتظام [6].

حيث يكون الانتشار العرضي للشلال الهوائي انتشارا مضاعفا كما هو مبين في شكل 14 وتغلب في تركيبتها الإلكترونات حيث تكون الأوفر حظا وعددا وأكثر انحرافا من الميونات، فالمقطع العرضي هو الذي تتحكم فيه المركبة الكهرومغناطيسية – الالكترون، البوزيترون، الفوتون - [9].

العمق الجوي العمودي: يصف التباين في كثافة الغلاف الجوي. تدل على X_u (u للمنحى العمودي) ؛ إنه يميز الطول الذي تتوغل فيه الجسيمات أوالشلال في المادة منذ التفاعل الأول للحزمة الأولية. وتقاس بالجرام / سم^2. (g/cm^2) .

X_{max} : هوالعمق الجوي الرأسي الذي يكون فيه تطور الشلال أقصى ما يمكن.

طول الإشعاع: هومتوسط المسافة التي يتم في نهايتها قسمة طاقة الإلكترون على e. تبلغ قيمتها $g \cdot cm^{-2}$ 37.1 [6].



الشكل 14: مخطط لرصد جسيمات عالية الطاقة بدءا بالجسيمات الابتدائية وصولا بالثانوية . حيث يظهر المخطط بعض خصائص الشلال الهوائي [9] .

7.2 تليسكوب بيير أوجي Pierre Auger (الأرجنتين):

مرصد Pierre Anger عبارة عن مجموعة من الكاشفات المنتشرة على مساحة 3000 كيلومتر مربع على سهل الهضاب العالية في بامبا أماريلا في الأرجنتين. تم تصميمه من قبل جيم كرونين وآلان واتسون في مؤتمر الأشعة الكونية الدولي لعام 1991 في دبلن لمعالجة أسرار، أصل وطبيعة الأشعة الكونية الأعلى طاقة. تطور تصميم المرصد إلى نظام كاشف "هجين" يتألف من صفيف 1660 كاشف جسيمات يتم التطلع بواسطة 27 مقراب بصري. سوف تسجل تقنيات الكاشف التكميلية هذه الجسيمات وضوء الوميض الخافت الناتج عن شلال الجسيمات الذي بدأ في الغلاف الجوي بواسطة هذه الأشعة الكونية الغامضة [23] .

كان من الواضح لهم، أن كاشفًا كبيرًا جدًا فقط سيكون لديه التعرض لجمع ما يكفي من الأحداث للإجابة على الأسئلة التي أثارها قرن من التجارب.

وتم تصميم هذا المرصد لقياس التوزيع، والإنتشار والتدفق وصولا بطبيعة الأشعة الكونية على كامل المجال 10^{19} eV حتى أعلى طاقاتها مع إحصائية مهمة ودقة جيدة لطاقة الأشعة الكونية .

المرصد هوكاشف هجين، وهذا يعني أنه يكتشف من ناحية الضوء المنبعث من الفلورة (Fluorescence) عندما يتطور الشلال في الغلاف الجوي ومن ناحية أخرى جسيمات الثانوية للشلال التي تصل إلى الأرض.

- الكشف الأرضي: يتكون من خزانات الماء ذات تأثير Cherenkov تشكل شبكة مثلثة حيث يتم فصل كل محطة عن جيرانها بمسافة 1.5 كم. مع مرور الجسيمات الثانوية للشلال الجوي، تقيس كل محطة وقت الوصول واتساع الإشارة. بفضل هذه البيانات، يمكن تحديد: اتجاه الشلال وإحداثيات نقطة التأثير وطاقة الجسيم الإبتدائي.

- الكشف عن طريق الفلورة (Fluorescence): تعتمد تقنية الكشف هذه على تسجيل الفلورة تتولد جزيئات النيتروجين في الغلاف الجوي من خلال تطور الشلال الهوائي الكبير. هذا ما يجعل من الممكن تحديد اتجاهها وقياس المظهر الجانبي الطولي، أي كثافة الجسيمات كدالة لعمق الغلاف الجوي المتوغل فيه [6] . [23] .

8.2 التلسكوب Array (الولايات المتحدة الأمريكية)

مشروع Telescope Array [24] هوتعاون بين جامعات ومؤسسات في الولايات المتحدة واليابان وكوريا وروسيا وبلجيكا. تم تصميم التجربة لمراقبة شلالات الهواء التي تسببها الأشعة الكونية ذات الطاقة العالية للغاية (UHECR) . يتم ذلك باستخدام مزيج من تقنيات المصفوفة الأرضية وتقنيات الفلورة (Fluorescence) . تقوم مجموعة أجهزة الكشف اللمعان (scintillator detectors) باختبار البصمة الخاصة بدش الهواء عندما يصل إلى سطح الأرض، في حين تقيس التلسكوبات الفلورية Fluorescence Telescope ضوء الفلورة الناتج عن مرور شلال الجسيمات عبر الغلاف الجوي .

يرصد تلسكوب المصفوفة أوالصفيف Telescope Array أشعة كونية بطاقات أكبر من 10^{18} eV . حيث يتربع على أكثر من 300 ميل مربع من الصحراء. ويتكون من أكثر من 500 كاشف لمعان، كل منها 3 م^2 متر مربع،تقع على شبكة مربعة 1.2 كم. بالإضافة إلى ذلك، هناك ثلاث محطات تلسكوب على مثلث 30 كم. تم تجهيزها بـ 12-14 تلسكوب لكل منها. يقوم المرصد Telescope Array بجمع البيانات في الصحراء الشاسعة في مقاطعة ميلارد، يوتا، الولايات المتحدة الأمريكية منذ عام 2007 [24].

يقوم المرصد حاليًا بإضافة تلسكوب منخفض الطاقة TALE (ملحق تلسكوب صفيف منخفض الطاقة. the Telescope Array Low Energy extension) إلى مصفوفة التلسكوب مما سيمكن من دراسة التغيرات في طيف الطاقة والتركيب الكيميائي عبر نطاق طاقة أوسع. TALE سيسمح بمراقبة الأشعة الكونية بطاقات منخفضة تصل إلى$3x10^{16}$ eV. ويتم تحقيق ذلك عن طريق إضافة 10 تلسكوبات جديدة بزاوية ارتفاع عالية، بعرض يصل إلى 72^0 درجة، إلى إحدى محطات التلسكوب وإضافة تجمع من كاشفات اللمعان [24].

9.2 التوزيع الطولي (Distribution longitudinal) وX_{max}:

من المعلوم أن في تطور الأشعة الكونية في الغلاف الجوي يحدث تغير في عدد الجسيمات داخل الشلال الهوائي أوالشلال الهوائي في العمق الغلاف الجوي، وذلك بزيادة عدد الجسيمات في بداية التفاعل إلى أن يصل إلى قيمة أعظمية X_{max} حي تبدا الجسيمات في التناقص . وتعطى العلاقة الفيزيائية للتوزيع الطولي، دالة التوزيع الطولي Gaisser- Hillas

$$N(x) = N_{\max} \quad \left(\frac{X - X_0}{X_{max} - X_0}\right)^{\frac{X_{max} - X_0}{\lambda}} \quad e^{\frac{X_{max} - X}{\lambda}}$$

المعادلة 5 : دالة التوزيع الطولي Gaisser- Hillas [6], [7]

N_{max} : العدد الأعظمي للجزيئات الناتجة عن تطور الشلال

X_{max}: عمق الغلاف الجوي عند $N_{\max}$

X_0: العمق عند بداية التفاعل

λ: 70 g/cm^2

10.2 نموذج هيتلر (نموذج لعبة) Heitler (Toy Model):

نموذج هيتلر (toy model) أو Heitler [25] هو نموذج مبسط يسمى بـ "نموذج اللعبة" والذي يسمح بفهم تطور أعداد الجسيمات الثانوية المتحصل عليها في الشلالات الهوائية [6]. وهذا النموذج يطبق غالبا على الشلال الكهرومغناطيسي وكذلك أيضا نستطيع أن نطبقه على الشلال الهدروني [7] . في هذا النموذج نفترض أنه بعد فترة من الإشعاع نجد أن:

- الالكترونات تنحرف عن مسارها بواسطة تأثير الإنكباح حيث أن الإلكترون والفوتون لديه نصف طاقة جسيمة الأم (الالكترون أو الفوتون الذي انحدر منه بعد التفاعل) الشكل 15 يوضح العملية .
- وكل فوتون ينتج زوجا من الإلكترون والبوزيترون، فإن كل عنصر من الزوجين لديه نصف طاقة فتون الأصل - أي فوتون الأم -.

نأخذ E_0 على أساس أنه طاقة الجسيم الإبتدائية،ثم بعد كل طول إشعاع، يتضاعف عدد الجسيمات بعد t أطوال الإشعاع، لذلك يوجد جسيمات 2^t يساوي طاقتها:

$$E = E_0/2^t$$

المعادلة 6: العلاقة الرياضية 1 لنموذج (Toy Model) [6]

ونستخرج من العلاقة السابقة المعادلة التالية :

$$t \ln 2 = \ln(E_0 /E)$$

المعادلة 7: العلاقة الرياضية 2 لنموذج (Toy Model) [25][6].

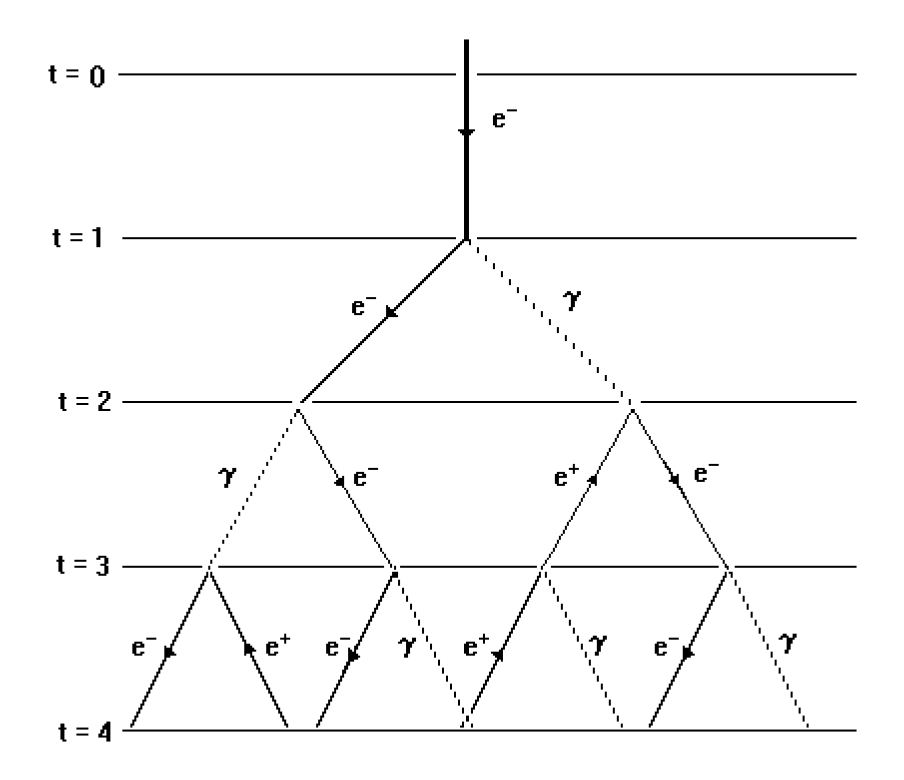
وبالتالي فإن سمك t_m (E) حيث تكون الجسيمات ذات الطاقات القريبة من E هي الأكثر عددا، من أجل $\ln(E_0 /E)$.

علاوة على ذلك فبمجرد أن يصل E إلى الطاقة الحرجة E_c يتوقف تضاعف الجسيمات الثانوية بسبب أن الإلكترونات تتوقف عند طول إشعاع مقارب له في طاقته [25].

ومنه نستنتج أنه يتم الوصول إلى الحد الأقصى من تطور الشلال في الغلاف الجوي في المتوسط لأجل اختراق السُمك يعطى بالعلاقة التالية [6]:

$$\mathbf{t_{max} \approx \ln(E_0 /E)}$$

المعادلة 8: العلاقة الرياضية لأجل اختراق الشلال سمك الغلاف الجوي (Toy Model) [6][25]



الشكل 15: مخطط للنموذج البسيط اللعبة للشلال الكهرومغناطيسي (toy model) [25].

الفصل الثالث

3. الأشعة الكــونية عــالــية الـطـاقــة

برنامج كونكس CONEX Code

الأشعة الكونية عالية الطاقة ما بعد الكاحل في الطيف الطاقوي محاكاة كود كونكس Code CONEX :

بعد قرن من اكتشاف الأشعة الكونية ظلت طبيعة وأصل الجسيمات التي لها طاقة تتخطى 6.10^{19} (eV) مجهولة وغير معروفة . تم تخصيص تجارب لغرض دراسة مصادرها وطاقاتها، خصائصها ؛ حيث أنشئت المراصد والتلسكوبات والأقمار الصناعية وكذا البالونات للأغراض العلمية . استطاع العلماء ان يجعلوا كواشف على سطح الأرض و في أعماق البحار، إضافة إلى كواشف تحت الجليد؛ لكن هذه الكواشف مخصصة لبعض أنواع من الأشعة الكونية. إلا أن بعضا منها غير خاضع للرصد المباشر .

جل الجسيمات فائقة الطاقة يصعب رصدها مباشرة نظرا لضعف الإمكانيات العلمية والتقنية. نتطرق لطريقة المحاكاة وهونظام به عدة نماذج مستقاة انطلاقا من نماذج حقيقية وبناء عليه يتم تقليد نظام يصعب دراسته تجريبيا[9] .

تلك النماذج تعتمد على معلومات وبيانات من المراصد والتلسكوبات

HESS،TELESCOP ARRAY،JEM-EUSO…

من بين برامج المحاكاة التي تدرس خواص الشلالات الهوائية MOCCA ، AIRES،CORSIKA .

نهتم في دراستنا هاته ببرنامج CORSIKA (COsmic Ray SImulations for KAscade) الذي يعتمد على طريقة حساب مونتي كارلو(MONTI CARLO) وهومن أفضل البرامج التي تصف تطور الشلال الهوائي واسع النطاق EAS .

الهدف من عملنا هوعمل محاكاة للشلالات الهوائية . استخدمنا نموذجين هادروني مختلفين، مجمعة معًا في برنامج محاكاة CONEX، لدراسة بعض خصائص Xmax، Nmax.

1.3 طريقة المحاكاة :

عند دخول الأشعة الكونية عالية الطاقة الغلاف الجوي للأرض تصطدم بأنوية الذرات الموجودة هنالك مثل الأكسجين والنيتروجين وينتج عن هذا التفاعل سلسلة كبيرة من الجسيمات الثانوية تدعى EAS (Extensive Air Shower) الشلال الهوائي الممتد [6].

بعد تطور الشلال الهوائي تزداد عدد الجسيمات الثانوية، لكن بطاقات أقل من تلك الجسيمات الابتدائية حسب النموذج المبسط لنموذج (Toy Model) [6][25] أنظر الشكل 15 ومعادلات رقم 6،7،8؛ حيث تفقد الجسيمات الثانوية على طول مسارها طاقاتها تدريجيا عن طريق تأيين ذرات الهواء، وستتوقف الجسيمة الأقل طاقة عندما يكون متوسط الطاقة لكل جسيمة أقل طاقة من القيمة الحرجة بعد ذلك يتناقص عدد الجسيمات الثانوية وهي مرحلة الخمود والاندراس.

القيمة التي يصل فيها عدد الجسيمات إلى قيمة قصوى N_{max}، والقيمة القصوى للعمق المخترق الأقصى X_{max}، بناءا على التحليل المفصل للمحاكاة المعتمدة على قيمة X_{max} و N_{max} حيث تسمح لنا المعطيات والنتائج المتحصل عليها من كونكس من خلال المحاكاة، مقارنتها مع النتائج التجريبية المتحصل عليها من خلال المراصد والتليسكوبات حيث يمكننا ذلك في المستقبل القريب كشف الغموض الذي يحوم حول تلك الجسيمات عالية الطاقة .

برنامج كورسيكا (CORSIKA Code) من البرامج المثلى في المعالجة البيانية الخاصة بتفاعلات الأشعة الكونية الابتدائية مع الغلاف الجوي ؛غير أنه تشوبه بعض النقائص خاصة الوقت المستغرق في إنشاء العمليات الحسابية الخاصة بالشلال الهوائي في الطاقات العالية جدا[26]، حيث يأخذ البرنامج وقتا طويلا في تعاطيه لتلك العمليات المعقدة، على ضوء هذا قمنا باستعمال برنامج كونكس الإصدار:

. [27] conex2r5.4. Output version 2.5x

ربحا للوقت لأنه معروف عنه تعاطيه لعمليات المحاكاة (معادلة الشلالات) بسرعة فائقة، هومناسب لمحاكاة أحادية البعد للملفات الشخصية ويحوي على نماذج عدة لتفاعلات الهادرونية في الطاقات العالية [21] [26]مثل:

SIBYLL 2.1.، QGSGET-01،QGSJETII-04،EPOS LHC

ويستعمل تلقائيا نموذج URQMD1.3 للطاقات المنخفضة .

يعد كونكس جيدا وسريعا في استخراجه للمقطع الطولي والجانبي للشلال ؛ حيث يعتمد في إجراء عملياته الحسابية على معادلة غيتر هيلاس Gaître Hillas[2] [6], [7] معادلة رقم 5 عند كل مقطع طولي انطلاقا من عمق محور الشلال.

تتم كتابة إعدادات ضبط محاكاة الشلال وكذلك نتائجه في ملف ROOT. هذا الأخير عبارة عن برنامج علمي معياري في شكل صندوق أدوات يوفر جميع الأدوات اللازمة لمعالجة البيانات الضخمة وتحليلها وتخزينها. تمت كتابته بشكل أساسي بلغة C ++ ولكنها مدمجة مع لغات أخرى مثل Python.

قبل إجراء العمليات الحسابية يتم تحديد كل من الزاوية وعدد الشلالات ونوع الجسيمة الابتدائية ومجالها الطاقي والنموذج المعتمد في الحساب كما هومبين في جدول 2 .

الرمز	الوصــف	القيمة التلقائية	التعليقات [3]
-e	log10(Emin/eV)	16.5	
-E	log10(Emax/eV)	21	
-m	نماذج الطاقات العليا: 2=QGSJET01 4=EPOS LHC 5=SIBYLL 2.1 6=QGSJETII-04	4	
-n	عدد الشلالات الهوائية	1	
-p	نوع الجسيم: 100=proton نواة الحديد 5600=iron 0=gamma فوتون	100	{5}
-z	(درجة) أدنى زاوية الذروة	60	{3}
-Z	(درجة) أقصى زاوية ذروة	60	{3}
-K	أقصى مستوى من التفصيل	0	{7}

الجدول 2: وصف الخيارات المتاحة 01 لبرنامج كونكس CONEX.

بالنسبة للطاقة (e- و E-) اعتبرناها ثابتة عند المحاكاة أي (E- = e-) . كذلك زاوية الذروة القصوى والدنيا (z- و Z-) اعتبرناها ثابتة (Z- = z-) .

[2] دالة التوزيع الطولي[7] Gaisser- Hillas [25]
[3] أنظر الملحق الوصفي، وصف الخيارات المتاحة لبرنامج كونكس

العبارة التالية تمثل اجراء محاكاة شلالات هوائية باستعمال برنامج conex، لنواة الحديد بطاقة 10^{21} eV .

```
./bin/conex2r -n 50 -p 5600 -e 21 -E 21 -z 40 -Z 40 -m 4 >p-E21-Z40&
```

2.3 النتائج:

استعملنا نظام تشغيل fedora.31 الإصدار 31 وهوفرع من نظام تشغيل LINUX . بعد تثبيته، أجرينا مباشرة خطوات تثبيت conex المذكورة في الملحق كما سيأتي

لدراسة خصائص الشلال الهوائي EAS، نقوم بتحليل عينة من المحاكاة 50 شلالا في ظل الشروط التالية:

1.2.3 الشروط الإبتدائية:

- p- الجسيمات الإبتدائية : البروتون ونواة الحديد (P،Fe).
- m- نماذج: EPOS LHC ، SYBILL.
- E- طاقة الجسيمات الإبتدائية: من10^{18} eV - 10^{21} eV) . 10^{18} - $10^{18.5}$ - 10^{19} - $10^{19.5}$ - 10^{20} - $10^{20.5}$ - 10^{21} eV).
- Z- زاوية السمت ثابتة : 40^0 .
- n- عدد الشلال الهوائي : 50 شلال .
- K-أقصى مستوى من التفصيل: 4.

أخذنا النتائج X_{max} والإرتيابات Δx حيث أن الإرتياب يحسب بالطريقة التالية:

$$\Delta x = \sigma_X/(N)^{1/2}$$

المعادلة9 : علاقة الارتياب لـ X_{max}

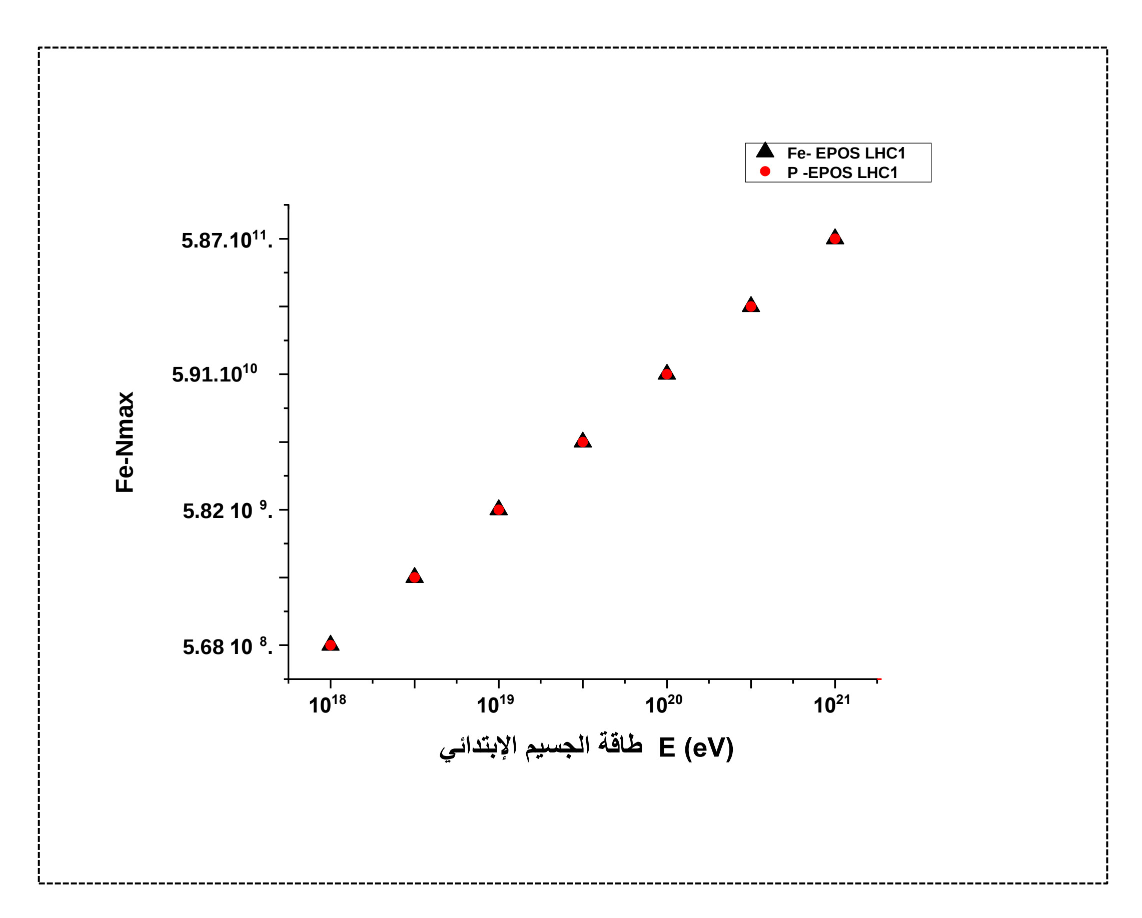
3.3 مناقشة النتائج:

ابتدأنا العمل من خلال النتائج المتحصل عليها من المحاكاة بتوزيع المقطع العرضي هو توزيع عدد الجسيمات المشحونة بدلالة المسافة عن محور الشلال، N_{max} المتمثل في شكل 16 وشكل 17، قدمنا تطور الحد الأقصى لعمق الاختراق X_{max}، كدالة لطاقة الجسيم الأولي (المقياس شبه اللوغاريتمي)، الشكل 18

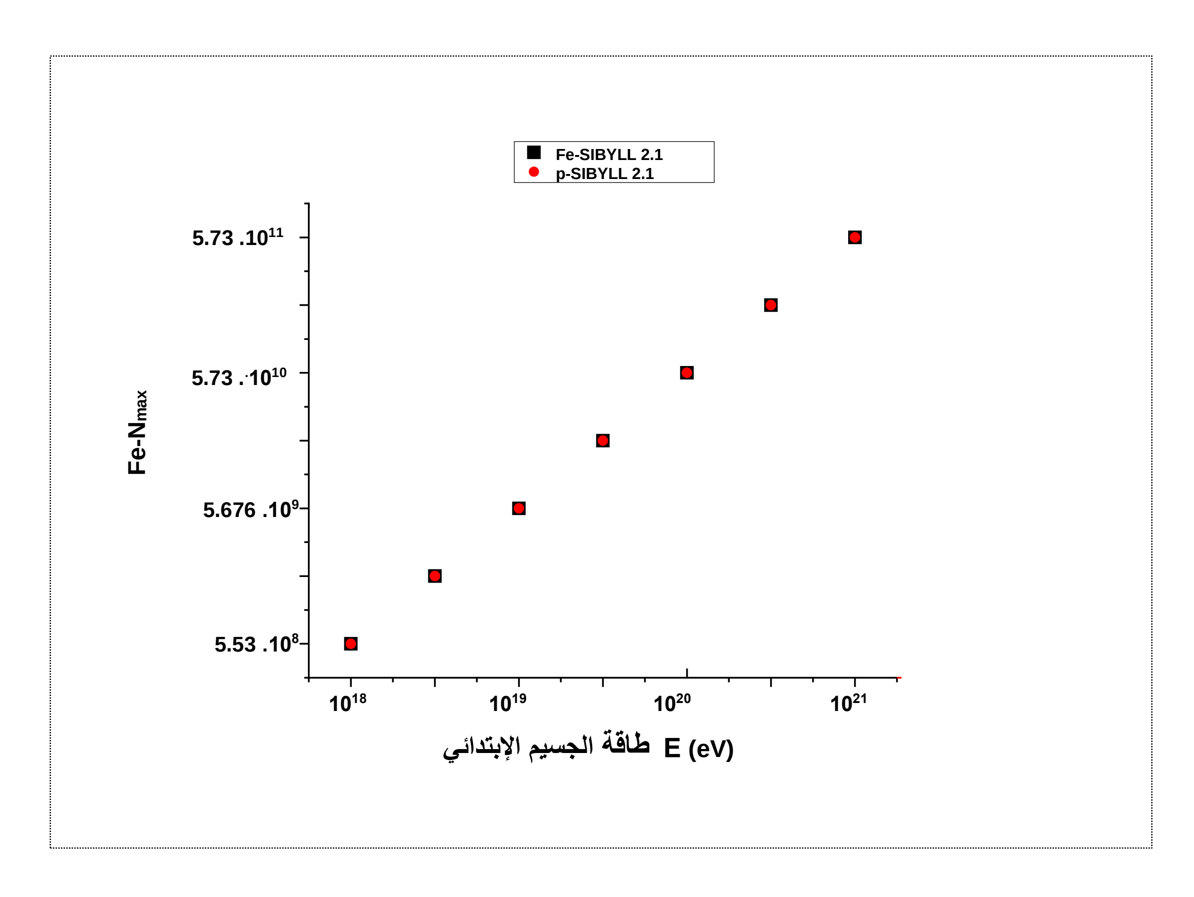
نلاحظ أن هذه الرسوم البيانية الخاصة بـ X_{max} تمثل دالة خطية متزايدة . نستطيع كتابتها على النحو التالي:

$$f\,(\log_{10}E) = a\,X_{max} + b$$

المعادلة 10 : علاقة تطور Xmax بدلالة طاقة الجسيم الإبتدائي.



الشكل 16: Nmax لنواة الحديد والبروتون من خلال نموذج EPOS LHC1.

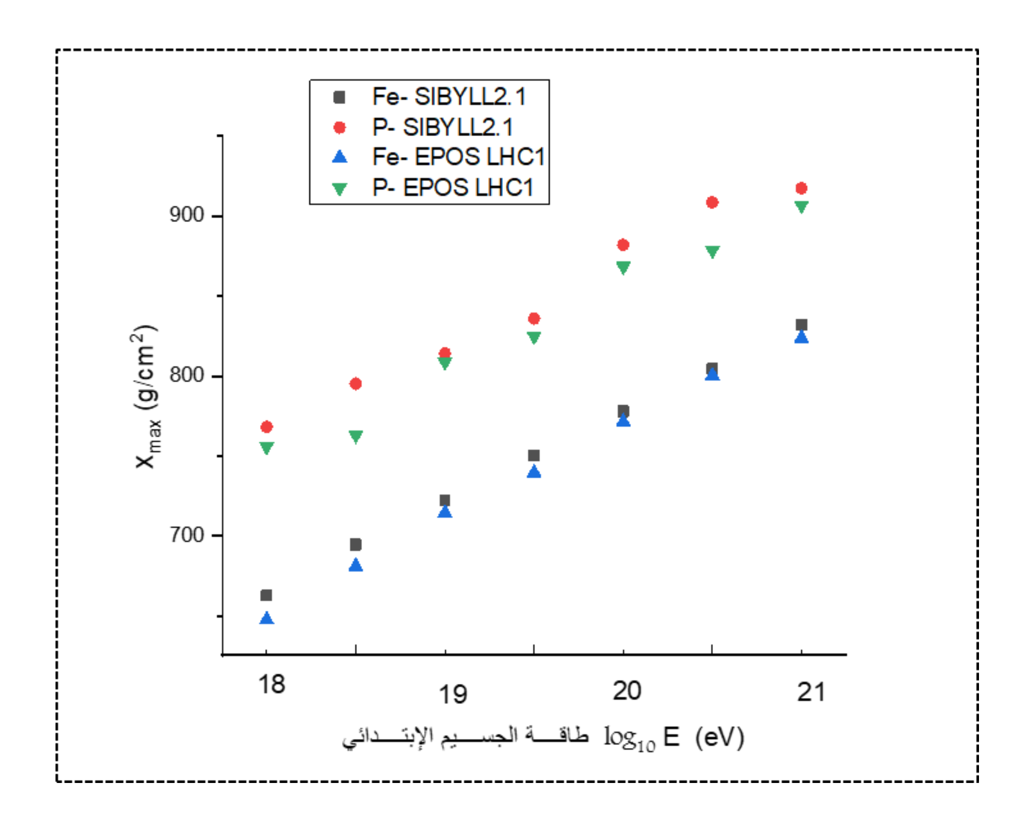


الشكل 17: N_{max} لنواة الحديد والبروتون من خلال نموذج SIBYLL 2.1

الشكل- 16 والشكل- 17 يظهران تطور توزيع المقطع العرضي N_{max} بدلالة الطاقة للجسيم الإبتدائي (من 10^{18} eV – 10^{21}) لكلا العنصرين نواة الحديد والبروتون، حيث يظهر جليا أنه كلما كانت طاقة العنصرين مرتفعة (نواة الحديد والبروتون) ازدادت عدد الجسيمات المشحونة في قيمتها الأعظمية N_{max} يصبح أعلى قيمة من ذي قبل؛ مما يدل أن هناك علاقة طردية بين طاقة الجسيم الإبتدائي للأشعة الكونية والقيمة القصوى لعدد الجسيمات N_{max}.

من الملاحظ أن القيم متطابقة والمنحنى متراكب superposed في قيمه أي أن قيمة N_{max} لنواة الحديد هي نفسها تقريبا، N_{max} للبروتون لنفس القيمة الطاقية .

من المهم أنه لا يظهر الإختلاف كبيرا من خلال نموذج EPOS LHC1 (الشكل-16) و نموذج SIBYLL 2.1 (الشكل-17).



الشكل18 : Xmax لنواة الحديد و البروتون من خلال نموذجيْ: EPOS LHC1 وSIBLL 2.1

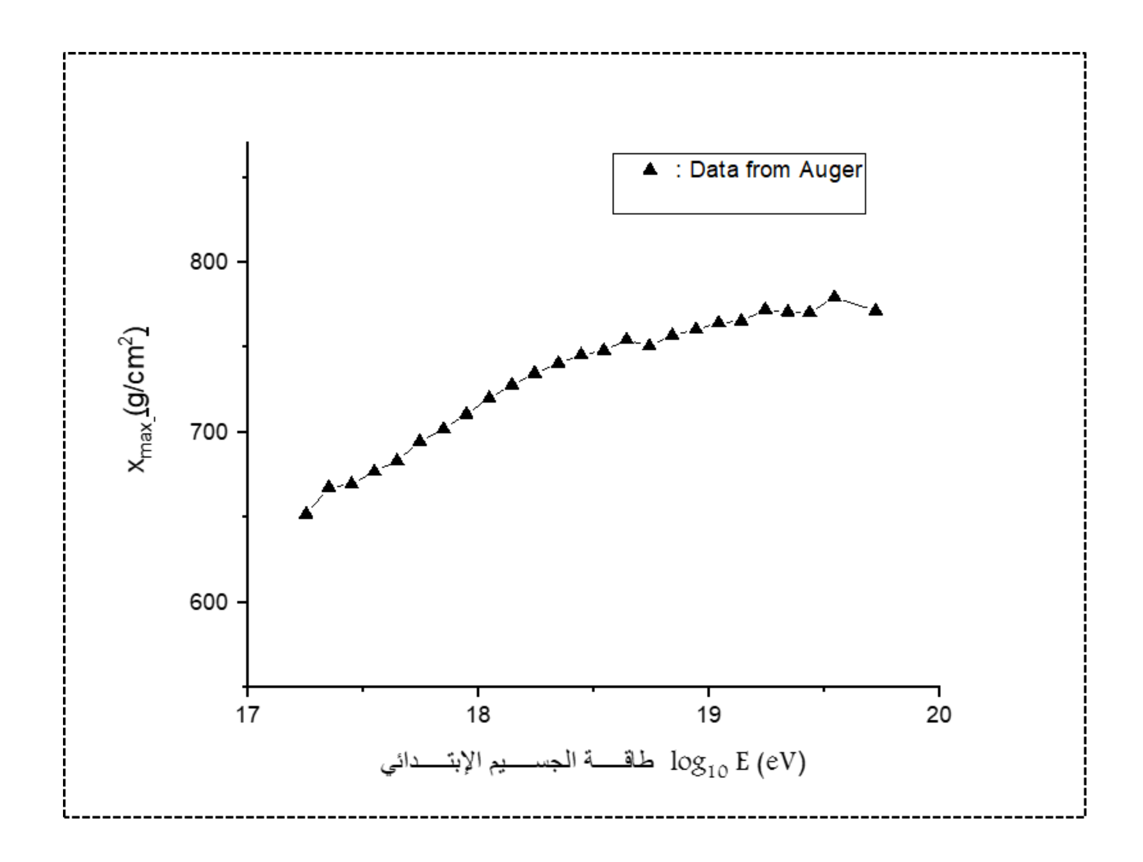
الشكل-18 يبين المنحنى تطور العمق الأعظمي x_{max} بدلالة طاقة الجسيم الإبتدائي للأشعة الكونية لكلا العنصرين (P وFe) باستعمال النموذجين: EPOS LHC1 و SIBYLL 2.1 .

توجد علاقة أسية بين X_{max} وطاقة الجسيم ؛ حيث أنه كلما ارتفعت طاقة الجسيم الإبتدائي (P أوFe) ازدادت معه قيمة العمق الأعظمي X_{max} في كل المجال الطاقي (من 10^{18} – 10^{21} eV) وفي كلا النموذجين: EPOS LHC1 و SIBYLL 2.1. وكذلك تظهر القيمة التقريبية للفرق في قيمة X_{max} لنواة الحديد والبروتون، حيث

$$X_{max}\ (\text{نواة الحديد}) - X_{max}\ (\text{بروتون}) = 100\ g/cm^2$$

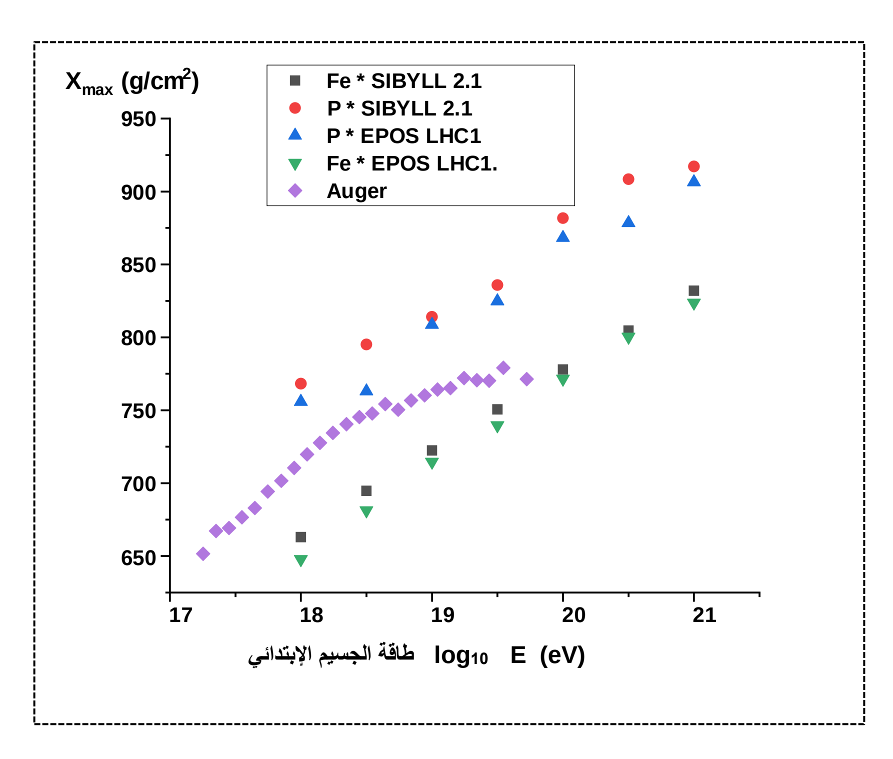
ومن الملاحظ الفرق في قيم X_{max} بين النموذجين : EPOS LHC1 Model و SIBLL 2.1 Model . وهو أن

X_{max} (SIBLL 2.1) < X_{max} (EPOS LHC) وسبب ذلك راجع إلى اختلاف الخوارزمية والمعادلات التي برمجت عليهما النموذجين، كاعتماد نموذج على قيم ليست في النموذج الآخر.



الشكل19 : يعرض المنحني البياني لطاقة جسيمات الأشعة الكونية المسجلة في مرصد أوجي Auger [28].

شكل 19 يمثل المنحنى البياني لطاقة جسيمات الأشعة الكونية الإبتدائية التي سجلت في المرصد الأرجنتيني أوجي Auger، الذي سنعرضه في الشكل 20 لمقارنته مع ما توصلنا إليه من نتائج.



الشكل20 : يمثل الشكل دمج بيانات أوجي مع محاكاة النموذجين المقدمين في هذا البحث EPOS LHC1 وSIBYLL 2.1 لنواة الحديد و البروتون.

يمثل شكل 20 مقارنة عملنا مع محاكاة النموذجين EPOS LHC1 و SIBYLL 2.1 لنواة الحديد والبروتون على مستوى المجال الطاقي (من 10^{18} eV – 10^{21}) حيث تظهر النتائج مجالين تتربع عليهما الأشعة الكونية الابتدائية، نقارن بين القيم التجريبية (من خلال المراصد والتلسكوبات مثل أوجي) ونتائج المحاكاة المتحصل عليها .

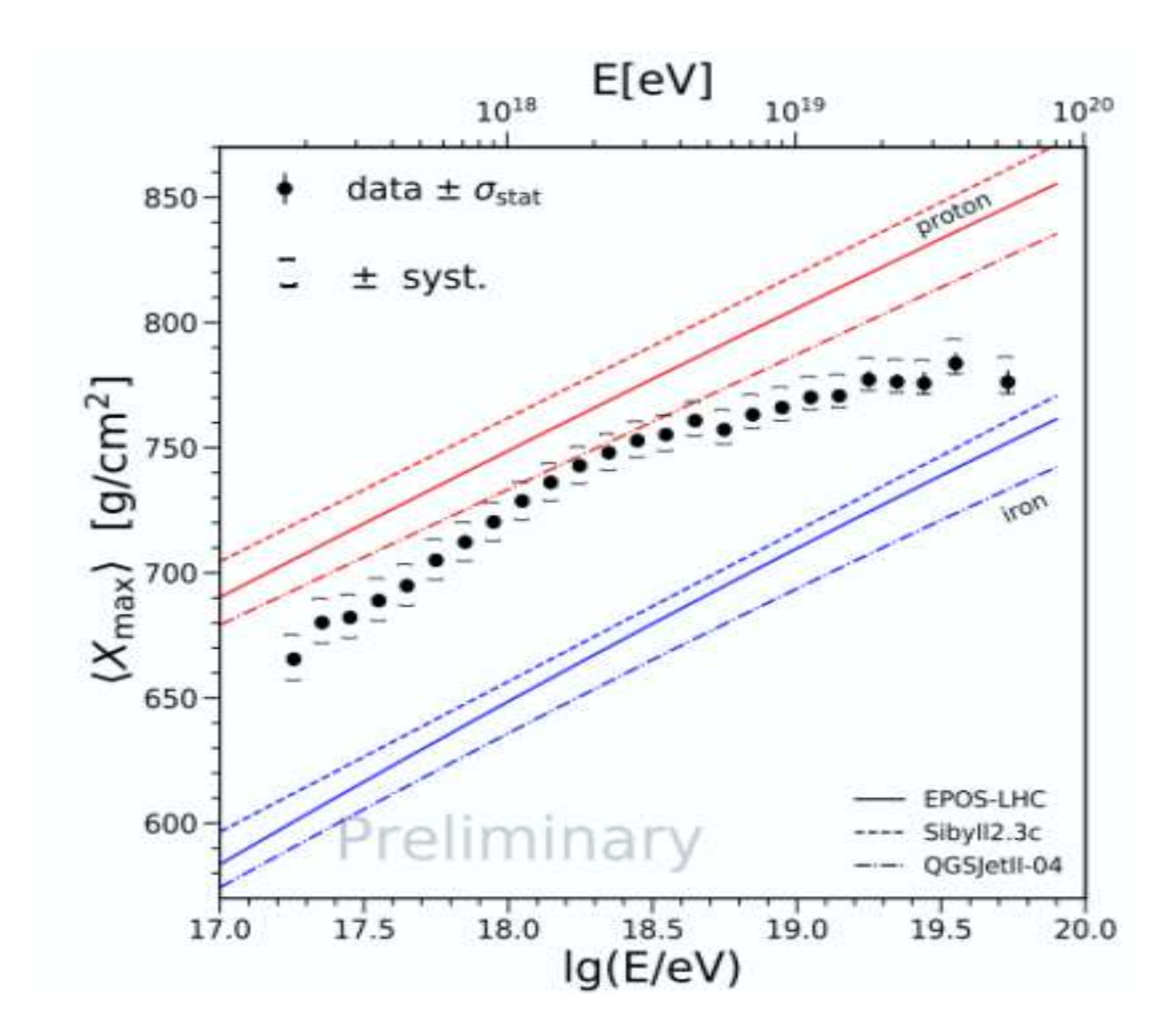
المجال الطاقي: (من 10^{18} eV – 10^{19})

نلاحظ أن القيم التجريبية للأشعة الكونية الابتدائية قريبة من قيم تطور العمق الأعظمي X_{max} بين النموذجين : EPOS LHC1 و SIBYLL 2.1 للبروتون ؛ هذا يدل على أن المجال الطاقي يغلب عليها جسيمات و أنوية الأشعة الكونية الخفيفة مثل البروتونات، جسيمات ألفا (α) ...

المجال الطاقي: $E > 10^{19}$ eV

الطيف الطاقي الذي هوأكبر من الكاحل يشير إلى أن الجسيمات الإبتدائية للأشعة الكونية التي تلج الغلاف الجوي للأرض ثقيلة نسبيا فهي تقترب في قيمها من قيمة العمق الأعظمي X_{max} بين النموذجين : EPOS LHC1 و SIBYLL 2.1 لنواة الحديد فهويدل على أن الجسيمات المرصودة هي نواة الحديد أو هوعنصر أقرب كتلة (m) لنواة الحديد

$$m_p < m < m_{Fe}$$



الشكل21 : منحنى بياني يمثل مقارنة نتائج المحاكاة بين نواة الحديد والبروتون لنماذج عدة إضافة إلى مقارنتها مع نتائج مرصد أوجي 4 [28].

الشكل 21 يبين ما توصلنا إليه من خلال هذا العمل حيث أن المنحنى البياني يدل على تطور العمق الأعظمي المتوسطي بدلالة الطيف الطاقي اللوغريثمي (من 10^{17} eV – 10^{20})، تظهر النتائج المقارنة بين نماذج المحاكاة

(QGSJETII.04، SIBYLL2.3c،EPOS LHC) للبروتون ونواة الحديد والقيم التجريبية لمرصد أوجي وتمثل الفرضية التي توصلنا إليها آنفا الشكل 20 وهي الأرجح عندي[29][28] .

---

[4][28] **Highlights from the Pierre Auger Observatory 24 Sep 2019**

المجال الطاقي: (من $10^{17.5}$ eV – $10^{19.5}$)

نلاحظ أن القيم التجريبية للأشعة الكونية الابتدائية قريبة من قيم تطور العمق الأعظمي X_{max} بين النماذج : (EPOS LHC، SIBYLL2.3c،QGSJETII.04) للبروتون؛ هذا يدل على أن المجال الطاقي يغلب عليها جسيمات و أنوية الأشعة الكونية الخفيفة مثل البروتونات، جسيمات ألفا (α) ...

المجال $E > 10^{19.5}$ eV

الطيف الطاقي الذي هوأكبر من الكاحل يشير إلى أن الجسيمات الإبتدائية للأشعة الكونية التي تلج الغلاف الجوي للأرض ثقيلة نسبيا فهي تقترب في قيمها من قيمة العمق الأعظمي X_{max} للنماذج : (EPOS LHC،SIBYLL2.3c ،QGSJETII.04) لنواة الحديد؛ هذا يدل على أن الجسيمات المرصودة هي نواة الحديد أو هوعنصر أقرب كتلة (m) لنواة الحديد

$m_p <، m < m_{Fe}$

4. الخاتمة

في هذه المذكرة تركزت دراستنا على الأشعة الكونية عالية الطاقة (UHECR)، والتي تُحدث فور وصولها الغلاف الجوي للأرض، شلالات ممتدة (Extensive Air Showers.EAS). وبما أنها فائقة الطاقة يصعب علينا رصدها استعملنا برنامج المحاكاة كونكس الذي يعتمد على طريقة مونتي كارلوفي الحساب وعلى ميزته السريعة في إجراء العمليات وتحليل البيانات ويحوي نمادج عدة من التفاعلات الهدرونية:SIBYLL 2.، QGSGET-01،QGSJETII-04، EPOS LHC

من خلال النتائج المتحصل عليها بعد المحاكاة توصلنا إلى أن:

- تطور عدد الجسيمات المشحونة الأعظمية N_{max} أوالجسيمات الثانوية يتعلق بتطور العمق الأعظمي X_{max} وطاقة الجسيمة الابتدائية ونوعها من ناحية الكتلة (m).
- العمق الأعظمي X_{max} يتطور خطيا بدلالة طاقة الجسيم الإبتدائي خاصة المجال المدروس من

10^{18} - 10^{21} eV وأن الفرق في العمق الأعظمي بين نواة الحديد والبروتون يقدر بـ: 100 g/cm^2 .

تشير نتائجنا لـ: X_{max} بعد مقارنتها مع نتائج الرصد في مرصد أوجي أن الجسيمات الإبتدائية الأعلى طاقة تعتبر أنوية ثقيلة، أما الأقل طاقة فهي عبارة عن أنوية خفيفة أوبروتون .

- هناك اختلاف طفيف بين النموذجين SIBYLL2.1،EPOS LHC 1 وهذا راجع إلى اختلاف الخصائص المعادلات والقيم الإبتدائية المأخودة بين النموذجين.

وفي الأخير تحصلنا على نتائج لـ X_{max} مشابهة لبعض الأبحاث السابقة ومقارنة بالنتائج التجريبية، مرصد أوجي نموذجا[29][28].

.5 الــملــحــق

1.5 بعض البيانات الخصة بالوحدات الطاقوية :

Mev: Mégaélectronvolt (10^6 ev)

Gev : Giga électronvolt(10^9ev)

Tev : Téra électronvolt(10^{12}ev)

Pev : Péta électronvolt (10^{15}ev)

Eev: Exa électronvolt(10^{18}ev)

Zev: Zêtta électronvolt(10^{21}ev)

(Mpc Mégaparsec): الفرسخ الفلكي، وهي وحدة قياس المسافات الشاسعة تستعمل لقياس

الأطوال الفلكية وتقدر بـ: كلم $3.75 * 10^{13}$ أومتر $3.75 * 10^{16}$. وتقدر بـ 3.2616 سنة ضوئية

Erg : وحدة لقياس الطاقة وتقدر بــ 10^{-7} جول.

2.5 من أجل تثبيت برنامج CONEX

أ) أولا نتأكد من إعداد ROOT بشكل صحيح،خاصة أن $ROOTSYS/bin موجود في مسار البحث الخاص بك search PATH .

ب) نكتب " make [opt]" لإنشاء مكتبات في(subdirectory) الدليل الفرعي "lib". (حيث يكون "opt" هو"qgsjet" أو"epos" أو"qgsjetII" أو"SIBYLL"). نكتب "make all" لإنشاء جميع المكتبات the libaries.

ج) نستخدام بيئة CONEX_PREFIX environment،إذا كننا نريد اختيار موقع تثبيت بديل. بشكل افتراضي، يتم استخدام $PWD.

د) إذا كننا نرغب في الاعتماد على نماذج الجداول في مكان مركزي، حيث أنها كبيرة ولا تتغير كثيرًا،نستخدم متغير البيئة CONEXTABROOT environment للإشارة إلى هناك.

يتم استخدام دليل (علامات التبويب "tabs") المحلي بشكل افتراضي [27].

3.5 وصف الخيارات المتاحة لبرنامج كونكس CONEX

- خيارات البرنامج (يمكن الحصول عليها بكتابة "bin / conex2r -h") [27]

الرمز	الوصـــف	القيمة التلقائية	التعليقات
-a	مؤشر طيفي ألفا: dN/dE ~ E^(-alpha)	3	{2}
-e	log10(Emin/eV)	16.5	
-E	log10(Emax/eV)	21	
-i	(الـدرجة) زاويـة الـسمت	0	{4}
-m	نـماذج الــطاقـات الـعلـيـا: 2=QGSJET01 4=EPOS LHC 5=SIBYLL 2.1 6=QGSJETII-04	4	
-n	عدد الـشلالات الـهـوائـية	1	
-o	[m]مـعـامـل الـتـأثـيـر الأدنـى	0	
-O	[m]مـعـامـل الـتـأثـيـر الأقـصى	0	
-p	نـوع الـجـسيم: 100=proton نـواة الـحديـد 5600=iron فـوتـون 0=gamma	100	{5}

-s	الأصل العشوائي	0	{1}
-S	الحفظ التلقائي بعد n شلال هوائي	10	
-x	بداية إسم الملف	conex	{6}
-z	(درجة) أدنى زاوية الذروة	60	{3}
-Z	(درجة) أقصى زاوية ذروة	60	{3}

إذا تم تعريف شجرة التفاعلات الرائدة في conexConfig.h الإفتراضي :

-K	أقصى مستوى من التفصيل	0	{7}

الجدول 3: وصف الخيارات المتاحة02 لبرنامج كونكس CONEX.

4.5 تعليقات على خصائص برنامج كونكس CONEX

{1} إذا كانت 0 =< s، يتم إنشاء أول بذرة seed لمولد الأرقام العشوائية تلقائيًا باستخدام "/ dev / urandom" والتاريخ (إن أمكن، فقط في نظام التشغيل Linux) وإلا فسيتم استخدام 1 كثابت (123).

إذا كانت 0 <s، فإن البذرة SEED الأولى هي قيمة s (إذا كنت تريد التحكم في توليد seedجسيمات الرئيسية).

يتم استخدام البذور seed في اسم ملف الإخراج (انظر {4})، لذلك إذا كانت البذور هونفسه بالنسبة إلى تشغيلين مختلفين، ستنشئ نفس الدش (إذا كانت الخصائص متكافئة) وسيتم الكتابة فوق ملف الإخراج.

لا يمكن إعادة إنتاج االدش إلا بنفس البذور seed باستخدام QGSJet.يرجع هذا القيد إلى مشكلة تحويل الدقة الفردية إلى المزدوجة.

{2} إذا كانت 1 <a، فإن الطاقة الأولية E تتبع: E ^ (- a) مع Emin <E <Emax

إذا كان 1 =< a =< 0،، فإن الطاقة الأولية E تتبع: 1/Eمع Emin <E <Emax

إذا كان 0> a، يتبع تسجيل الطاقة الأولية (E) علىالنحوالتالي :

$$\log10 (E) = \log10 (Emin) + n * abs (a)$$

حيث n عدد صحيح و Emin <= E <= Emax.

إذا كان Emin = Emax، فإن a لا تلعب أي دور: E = Emin = Emax.

{3} 0 => زاوية <= 180. إذا كانت الزاوية> 90، يكون الدش صاعدًا ويأتي من الأرض.

إذا كانت theta1! = theta2 يتم رسم زاوية الذروة أوالقمة من التدفق المتناحي على سطح مستو، أي

dN/dcos(theta) ~ cos(theta)

من الواضح أن هذا ليس منطقيًا بالنسبة لدش أوالشلال الأفقي، لذا يستحسن التأكد من ضبط theta1 = theta2 لهذا الغرض

{4} الزاوية محصورة 0 => زاوية <= 360. تعريف AUGER لزاوية "phi" مستخدم: 0 = شرق

إذا كانت الزاوية <0 يتم رسمها بشكل موحد من المجال [0.360] درجة.

{5} كود الجسيم = 100 * A للنواة، (أي البروتون: A = 1، الحديد: A = 56)

أشعة جاما: A = 0

أويمكننا استخدام كود PDG Monte-Carlo لأي جسيم آخر (.e 11 = إلكترون، 22 = فوتون، ...)

ملاحظة: يمكننا استخدام الجسيمات "القياسية" فقط (النواة، طول عمر الهادرون والإلكترونات وفوتونgamma وكذا الميون.) => شلالات مستحثة بالنيوترينوأوتاوغير متوفرة في البرنامج.

{6} اسم ملف الإخراج output file يتم إنشاؤه تلقائيًا:

.<prefix> _ <MC model name> _ <seed> _ <Particle> .root>

الافتراضي هوإذن: conex_eposlhc _(اسم الملف)_ root.100

{7} عدد تفاعلات هادرونيك مونت كارلو(<100) المحفوظة في شجرة Interactions Leading

بالنسبة إلى K = 1، يتم حفظ الجسيمات الثانوية فقط من التفاعل الأول.

بالنسبة إلى K = 2، بعد التفاعل الأول، يتم أيضًا تسجيل الجسيمات الثانوية للتفاعل التالي للجسيم الرئيسي (الأكثر طاقة) وهلم جرا ... يتم تسجيل الجسيمات الثانوية التي ينتجها الجسيم الرئيسي للتفاعل المحفوظ مسبقًا.

الفهارس:

1. فهرس الأشكال والصور

الشكل 1: تجربة هاس المشهورة في قياس الأشعة الكونية واثبات مصدرها [4] . . 9

الشكل 2 : نتائج هاس والتي تمثل زيادة الجسيمات المشحونة مع الارتفاع، أي تتناسب تدفق الأشعة الكونية طرديا مع الارتفاع إلى الفضاء (1911-1912) [5] 10

الشكل 3: مخطط تفاضل طيف الطاقة للأشعة الكونية الإبتدائية [10][9] [5] [2] . 13

الشكل 4: وفرة العناصر الطبيعية للأشعة الكونية الإبتدائية[7]. 15

الشكل 5: البنية المادية للطيف الطاقي التفاضلي للأشعة الكونية الإبتدائية، وحيث تظهر بعض النتائج المرصودة من مختلف المراصد والتليسكوبات.[4] 16

الشكل 6: المخطط يبين تفاعل الجسيمات الإبتدائية الأولية مع الغلاف الجوي وكيفية رصد وكشف الجسيمات الثانوية من خلال التليسكوبات والكاشفات[12]. . . 20

الشكل 7: السلسلة الكهرومغناطيسية [14] 22

الشكل 8: التأثير الكهروضوئي Photoelectric effect [16] 23

الشكل 9: تأثير كومبتون Compton Effect [19] 24

الشكل 10: تفاعل إنتاج الأزواج Pairs production [20] 25

الشكل 11: ظاهرة الإنكباح Bremsstrahlung [15] 26

الشكل 12: إنطلاق ظاهرة شعاع شيرينكوف Cherenkov effect عندما تجاوزت الجسيمة سرعة الضوء في الوسط. وقد مثلت الجسيمة بالسهم الأحمر وإشعاع شيرينكوف Cherenkov بالأسهم الزرقاء [22]. 27

الشكل 13: يظهر المخطط تطور الأشعة الكونية الإبتدائية خلال رحلتها في الغلاف الجوي وصولا إلى الأرض وتظهر مركبات السلسلة الهادرونية والكهرومغناطيسية والمركبة الميونية [10][11][13]. 30

الشكل 14: مخطط لرصد جسيمات عالية الطاقة بدءا بالجسيمات الابتدائية وصولا بالثانوية . حيث يظهر المخطط بعض خصائص الشلال الهوائي [9] 32

الشكل 15: مخطط للنموذج البسيط اللعبة للشلال الكهرومغناطيسي (toy model) [25]. 37

الشكل 16: Nmax لنواة الحديد والبروتون من خلال نموذج EPOS LHC1. 43

الشكل 17: Nmax لنواة الحديد والبروتون من خلال نموذج SIBYLL 2.1 44

الشكل18 : Xmax لنواة الحديد والبروتون من خلال نمودجيْ: EPOS LHC1 وSIBLL 2.1. . . 45

الشكل19 : يعرض المنحني البياني لطاقة جسيمات الأشعة الكونية المسجلة في مرصد أوجي Auger [28]. 46

الشكل20 : يمثل الشكل دمج بيانات أوجي مع محاكاة النموذجين المقدمين في هذا البحث EPOS LHC1 وSIBYLL 2.1 لنواة الحديد والبروتون. 47

الشكل21 : منحنى بياني يمثل مقارنة نتائج المحاكاة بين نواة الحديد والبروتون لنماذج عدة إضافة إلى مقارنتها مع نتائج مرصد أوجي [28]. 48

2. فهرس المعادلات:

المعادلة1 : قانون Poisson Law [7]. 11
المعادلة2 : الدالة متعلقة بالمسافة المقطوعة وطاقة البروتون [11]. ... 18
المعادلة 3: العلاقة الفيزيائية لحساب تأثير كومبتون Compton Effect [17]. .. 24
المعادلة 4: معادلة لحساب زاوية شيرينكوف [21][22]. 27
المعادلة5 : دالة التوزيع الطولي Gaisser- Hillas [6], [7]. 35
المعادلة :6 العلاقة الرياضية 1 لنموذج (Toy Model) [6] 36
المعادلة 7: العلاقة الرياضية 2 لنموذج (Toy Model) [25][6]. 36
المعادلة 8: العلاقة الرياضية لأجل اختراق الشلال سمك الغلاف الجوي (Toy Model) [25][6]. 36
المعادلة9 : علاقة الارتياب لـ X_{max} 42
المعادلة10 : علاقة تطور Xmax بدلالة طاقة الجسيم الإبتدائي............ 43

3. فهرس الجداول:

الجدول1 :جدول يمثل المسافة التي يقطعها البروتون قبل تفاعله مع فوتون شعاع الخلفية الكونية (CMB) [12]. 18
الجدول 2: وصف الخيارات المتاحة 01 لبرنامج كونكس CONEX. 41
الجدول 3: وصف الخيارات المتاحة02 لبرنامج كونكس CONEX. 53

المراجع:

[1] د. حازم فلاح سكيك, "الاشعة الكونية Cosmic Rays," *شبكة الفيزياء التعليمية*, Apr. 25, 2020. https://www.hazemsakeek.net/الاشعة-الكونية-cosmic-rays/ (accessed Aug. 19, 2020).

[2] أ. دلهوم, "قياس جرعة الأشعة الكونية في الغلاف الجوي," جامعة باجي مختار, 2013.

[3] ب. فارس, "ما هي الأشعة الكونية؟," *نازا بالعربي*, nasainarabic: 2019. https://nasainarabic.net/main/articles/view/cosmic-rays.

[4] R. SEDRATI, "THESE DOCTORAT Interprétation du spectre primaire des électrons cosmiques de très haute énergie," Université Badji Mokhtar-Annaba, 2014.

[5] S. Rafik, "Mémoire MAGISTER Noyaux actifs de galaxies (AGN) et origine des rayons cosmiques d'énergie extrême," Université Badji Mokhtar-Annaba, 2010.

[6] K. Mouna, "Mémoire MASTER interaction des rayons cosmiques de tres haute energie avec l'atmosphere terrestre :initiation code CONEX.," Université Badji Mokhtar Annaba, 2017.

[7] T. DJEMIL, "Calcul du spectre d'énergie des muons atmosphériques à différentes altitudes Option," BADJI MOKHTAR, 2007.

[8] T. Mohamed Cherif, *Chapitre 4: Rayons Cosmiques Primaires*. Annaba: Université Badji Mokhtar, 2019.

[9] ب. شبابجي, "مذكرة ماستر محاكاة الشلالات الهوائية للأشعة الكونية عالية الطاقة," جامعة المسيلة, 2013.

[10] م. فيصلي, "رسالة ماجيستير. تأثير الحقل المغناطيسي الأرضي في الأشعة الكونية," جامعة الحاج لخضر باتنة, 2005.

[11] أ. أرفيس, "مذكرة ماستر دراسة الخواص المركبة اليونية للشلالات الهوائية للاشعة الكونية فائقة الطاقة," جامعة المسيلة, مسيلة, 2014.

[12] Konrad Bernlöhr., “Detection of cosmic-ray or gamma-ray air showers,” *from the Utah HiRes group*. https://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/CosmicRay/ShowerDetection.html (accessed Aug. 28, 2020).

[13] أ. . ع. س. ناجي, *كتاب مقدمة في فيزياء الطاقة والإشعاع الكوني. موقع الفريد في الفيزياء*. اليازوري, 2015.

[14] ع. توفيق, “مذكرة ماستر دراسة الاشعة الكونية عالية الطاقة وامكانية رصدها بالتليسكوب JEM-EUSO,” جامعة مسيلة, مسيلة, 2014.

[15] د. سمير نتو andمؤيد عيسى اسماعيل, “الأشعة السينية وإنتاجُها,” *الفيزياء الإشعاعية والوقاية*, Aug. 05, 2016. https://www.radiation-physics.com/2016/08/الأشعة-السينية-وإنتاجُها/ (accessed Aug. 19, 2020).

[16] “ظاهرة التأثير الكهروضوئي,” *radiology key*, Jun. 2016. https://radiologykey.com/wp-content/uploads/2016/06/DA1C5FF5.jpg (accessed Aug. 19, 2020).

[17] د. سمير نتو andم. ع. اسماعيل, “تفاعلات الإشعاع المُؤيِّن مع المادة,” *الفيزياء الإشعاعية والوقاية*, Aug. 04, 2016. https://www.radiation-physics.com/2016/08/1083/ (accessed Aug. 19, 2020).

[18] د.الخطيب and هـ. إبراهيم, *كتاب مبادىء الإشعاع والوقاية الإشعاعية*. عمان, الأردن: اليازوري, 2005.

[19] م. عدنان, *مقدمة إلى ميكانيك الكم*. .

[20] “إنتاج الأزواج الناتج من اصطدام الفوتون مع نواة ذرة ”. https://ar.wikipedia.org/wiki/ملف:Pairproduction-ar.png (accessed Aug. 19, 2020).

[21] D. Heck, J. Knapp, J. N. Capdevielle, G. Schatz, and T. Thouw, “CORSIKA: A Monte Carlo Code to Simulate Extensive Air Showers,” *Forschungszentrum Karlsruhe*, vol. FZKA 6019, pp. 1–90, 1998, [Online]. Available: http://www-ik.fzk.de/corsika/physics_description/corsika_phys.html.

[22] T. Mohamed Cherif, “Les Rayons Cosmiques. Chapitre 3: Detection des Rayons Cosmiques.” Université Badji Mokhtar, Annaba, 2019.

[23] “AugerPrime.” https://www.auger.org/index.php/observatory/augerprime (accessed Aug. 19, 2020).

[24] “telescope array,” *Telescope Array Project at the University of Utah*. http://www.telescopearray.org/ (accessed Aug. 19, 2020).

[25] D. Peter, “Demonstrating cosmic ray induced electromagnetic cascades,” *Preston College, Preston, Lancashire, UK*, 2000. http://hst-archive.web.cern.ch/archiv/HST2000/teaching/expt/muons/cascades.htm (accessed Aug. 19, 2020).

[26] T. Pierog, R. Engel, and D. Heck, “3D air shower simulations using CONEX in CORSIKA,” *31st International Cosmic Ray Conference, ICRC 2009*. 2009.

[27] T. and others Bergmann, “One-dimensional hybrid approach to extensive air shower title simulation,” *Astropart. Phys.*, vol. 26, pp. 420–432, 2007.

[28] A. Castellina, “Highlights from the Pierre Auger Observatory,” *Proc. Sci.*, vol. 358, 2019.

[29] Frank G. Schröder, “News from Cosmic Ray Air Showers (Cosmic Ray Indirect - CRI Rapporteur),” *Proc. Sci.*, p. 21, 2019.

الملخص:

الأشعة الكونية هي عبارة عن جسيمات معظمها مشحونة تختلف مصادرها من مستعرات عظمى أو نجوم نباضة، انفجارات أشعة غامة GRB، أنوية المجرات النشطة AGN... هذه الأشعة تصل للأرض بطاقات جد فائقة تتفاعل مع الغلاف الجوي منتجة شلالا هوائيا من الجسيمات الثانوية والتي تعرّفنا عن طاقة ونوع الجسيم الابتدائي وخصائصه .

تمكننا برامج المحاكات مثل CONEX من معرفة العمق الأعظمي وعدد الجسيمات الأعظمي وخصائص الشلال الهوائي ونوع الجسيمات الثانوية، ومنه نستطيع مقاربة النتائج التجريبية المتحصل عليها من خلال المراصد لاستنتاج الجسيمات الابتدائية.

وقد قمنا بدراسة N_{max}، X_{max} لنواة الحديد والبروتون وتمكنا من إيجاد نتائج مشابهة لأعمال أخرى سبقت.

Abstract:

Cosmic rays are mostly charged particles, emitted by different sources such as supernovae, pulsar stars, GRBs, active galaxies nuclei AGN, …etc. They reach Earth with Ultra High Energy and interact with the atmosphere, producing an air shower of secondary particles which give information about type of primary and secondary particles, their energy and their characteristics.

Simulation programs such as CONEX enable us to know the maximum depth, the maximum number of particles, the characteristics of the air shower and the type of secondary particles. Comparing simulated data to the experimental results from observatories reveals the real nature of primary particles.

In this dissertation, we studied maximum number of particles N_{max} and maximum depth X_{max} for Iron and Proton and were able to find results similar to other previous works.